

# Geología y Comportamiento Geoquímico del Urano en la Formación Girón, en la parte meridional del Anticlinal de Los Cobardes (Santander)

JAIME E. MENDOZA P.

Departamento de Geociencias, Universidad Nacional de Colombia, Apartado 14490, Bogotá, Colombia

MENDOZA P., J.E. (1990): Geología y Comportamiento Geoquímico del Urano en la Formación Girón, en la parte meridional del Anticlinal de Los Cobardes (Santander).- Geol. Colombiana, 17, pp. 183-195, 5 figs., Bogotá.

## RESUMEN

Se presenta el resultado de análisis y evaluación geológica-geoquímica del área Chima-Contratación, en la que se pone en evidencia las mineralizaciones uraníferas en una franja sedimentaria perteneciente a la Formación Girón que ha sufrido las condiciones geoquímicas necesarias y las características sedimentológicas apropiadas para atrapar las soluciones que aportaron el urano.

En el área Colorado se desarrollaron los trabajos de exploración y se definieron los parámetros que contienen la mineralización. Estos sectores mineralizados lo conforman conjuntos lenticulares dentro de ciclos sedimentarios de areniscas líticas, conglomerados y limolitas, en las que los minerales de uranio, siguiendo las características de óxido-reducción se depositaron en el proceso sindiagenético en ambientes fluviales de ríos meandriformes anastomosados y llanuras de inundación.

Los indicios uraníferos se encuentran principalmente en la base de los niveles conglomeráticos e intercalados en las areniscas, incluso a veces en la limolitas grises, pero siempre en relación con la presencia de materia orgánica y pirita, lo que indica la existencia de un ambiente reductor o por sedimentación en ambientes oxidantes ricos en materia orgánica.

Estas mineralizaciones corresponden a la paragénesis U-V-Cu asociada con rocas detriticas, con una presencia dominante de uranio, así como una asociación con la materia orgánica que no todas las veces está mineralizada.

Las capas mineralizadas tienen leyes iguales o superiores al 0.2% de  $U_3O_8$  pero con espesores promedios de 0.20 m; localmente demuestran tenores de esta magnitud en niveles de hasta 1.5 m. Tenores próximos al 0.1%

de  $U_3O_8$  pueden llegar a medir 80 m. pero con potencia mineralizada en 0.2 y 0.4 m.

## ABSTRACT

This paper contains the results of analysis and the geological and geochemical evolution from Chima-Contratación area, Departamento de Santander, where the presence of uranium ore is evident in a sedimentary fringe belonging to the Girón Formation. This formation has the geochemical conditions and sedimentological characteristics to hold in the solutions which are the source of uranium.

Exploration works were developed in Colorado area, where were defined the geological and geochemical parameters of the mineralization. These places are formed by lenticular bodies within sedimentary cycles of lithic sandstones, conglomerates and siltstones; the uranium, according with oxidation-reduction processes, was deposited in fluvial environments of meandering and braided streams, and in alluvial plains.

The uranium is found mainly at the lower part of the conglomeratic levels, interbedded with sandstones, or in the grey siltstones, but always in relation to organic matter and pyrite, and indicating a reducing environment, or deposition in an oxidized environment, rich in organic matter.

These mineralizations correspond to an U-V-Cu paragenesis, associated with detritic rocks, with abundant uranium associated also to organic matter, not always with mineralization.

Mineralized beds have tenors similar or higher to 0.2% of  $U_3O_8$ , with average thickness of 0.2 m. The area under study shows tenors in levels of 1.5 m. Tenors reaching 0.1% of  $U_3O_8$  measure 80 m, with mineralized levels averaging 0.2 - 0.4 m in thickness.

## INTRODUCCION

### Localización Geográfica

El área del presente estudio se ubica en el extremo sur de la Cordillera de los Cobardes, borde occidental de la Cordillera Oriental, en jurisdicciones de los municipios de Chima, Contratación y Guacamayo, Departamento de Santander (fig. 1).

### Marco Geológico Regional

El área hace parte del extremo meridional del Anticlinal de la Serranía de Los Cobardes, el cual con dirección NNE-SSW por más de 200 kms, está constituido en su núcleo por una secuencia continental tipo "red beds" de edad triásica-jurásica y en sus flancos por rocas de transición a netamente marinas.

Al E y NE del anticlinal, limitado por la falla del río Suárez y la falla de Bucaramanga, afloran sedimentitas cretáceas de origen marino, rocas ígneas y metamórficas pertenecientes a los macizos de Santander y Floresta. Hacia el W la flexión de Chucurí sirve de límite para las cuencas cretáceas y terciarias del Valle Medio del río Magdalena.

Las capas rojas de la Formación Girón, están constituidas por sedimentos fluvio-lacustres depositados en un sistema fluvial de cauces entrelazados y meandri-formes para finalizar con regímenes lacustres o de llanura de inundación. Sobre éstos se depositaron las areniscas y limolitas de la Formación Tambor, con la que se inicia la gran transgresión cretácea, y luego continúa con las lutitas negras de la Formación Cumbre y el depósito de calizas de la Formación Rosablanca.

El fuerte tectonismo y los procesos continuos de subsidencia y levantamiento de la cuenca generó en los inicios grandes espesores de sedimentos continentales mal clasificados; al final, como consecuencia de una estabilidad tectónica se depositaron sedimentos finos durante la transgresión marina (Formación Cumbre).

En el Terciario el área se reactiva tectónicamente y se produce el levantamiento de la Cordillera Oriental, originándose el "horst" de la Serranía de Los Cobardes, plegado en forma anticlinal y con cierre periclinal en el área de Contratación (Fig 2).

## ESTRATIGRAFIA

Se conocen pocos trabajos estratigráficos para el área; entre ellos sobresalen los realizados por Navas (1963) y Cediel (1968) en los que se define y redefine el Grupo Girón como tal.

Navas (*op. cit.*) hace un estudio detallado de la Formación Girón en la sección del río Lebrija entre las estaciones de Bocas y Conchal; allí diferencia de manera informal cinco niveles que denomina:

Nivel inferior lutítico, que en su mitad superior alterna con areniscas (550 m).

Nivel arcósico inferior (170 m).

Nivel superior de lutitas rojas que se intercalan con areniscas (850 m).

Nivel arcósico inferior (700 m), y

Nivel de lutitas rojas (230 m)

Cediel (1968) reestudiando la sección tipo (río Lebrija) caracteriza y detalla al Grupo Girón, le atribuye una potencia aproximada de 4.840 m. y lo divide en las formaciones Girón y Los Santos. La primera la subdivide informalmente en siete conjuntos; algunos de estos (Conjs. B, D y F) se caracterizan por ser sedimentos rojos, mientras que otros se distinguen por su constitución claramente arenosa (Conjs. A, C, E y G). A un conjunto más joven, al que le da el rango estratigráfico de formación (Conj. H), le asigna el nombre de Formación Los Santos.

En el presente estudio se establecen dos unidades informales para subdividir la Formación Girón; una gris conglomerático-arenosa y otra limolítica roja. La Formación Tambor, de edad jurásica superior a cretácea inferior, suprayace a la anterior luego de una débil discordancia angular; esta unidad está representada por areniscas bien seleccionadas, interestratificadas con limolitas rojas, verdes y grises; concordantemente a la Formación Tambor suprayace una serie de espesor variable, constituida por shales grises y crema, y arcillolitas fosilíferas, con bivalvos característicos del cretáceo inferior (Berriásiano), denominada Formación Cumbre; finaliza la secuencia con las calizas grises oscuras interestratificadas con lutitas grises calcáreas de la Formación Rosablanca (Fig. 3).

### FORMACION GIRON (*sensu* CEDIEL, 1968)

En el área Chima-Contratación, la Formación Girón está conformada por una secuencia de conglomerados, areniscas arcósicas, areniscas líticas y limolitas rojas. Su base no aflora en el área, se calcula un espesor superior a los 2.000 m, e infrayace, en aparente discordancia, a las areniscas bien seleccionadas de la Formación Tambor.

### Unidad Gris Conglomerática arenosa

Su mejor expresión se localiza en la parte más septentrional del área, constituye el núcleo del Anticlinal de Contratación y presenta buenas exposiciones en el corte de las quebradas Chimera, Cureña, Llanita y Aguablanca.

De esta unidad sólo aflora la parte superior, alrededor de 750 m., aunque puede llegar en el extremo norte del área, a espesores superiores a los 2000 m; su techo infrayace concordantemente a la unidad limolítica roja.

En la parte más antigua aflorante, predomina la fracción gruesa, representada por conglomerados polimicticos, areniscas de grano grueso a medio y espóradicas intercalaciones de limolitas grises; hacia la parte media y superior (sector que reviste el mayor

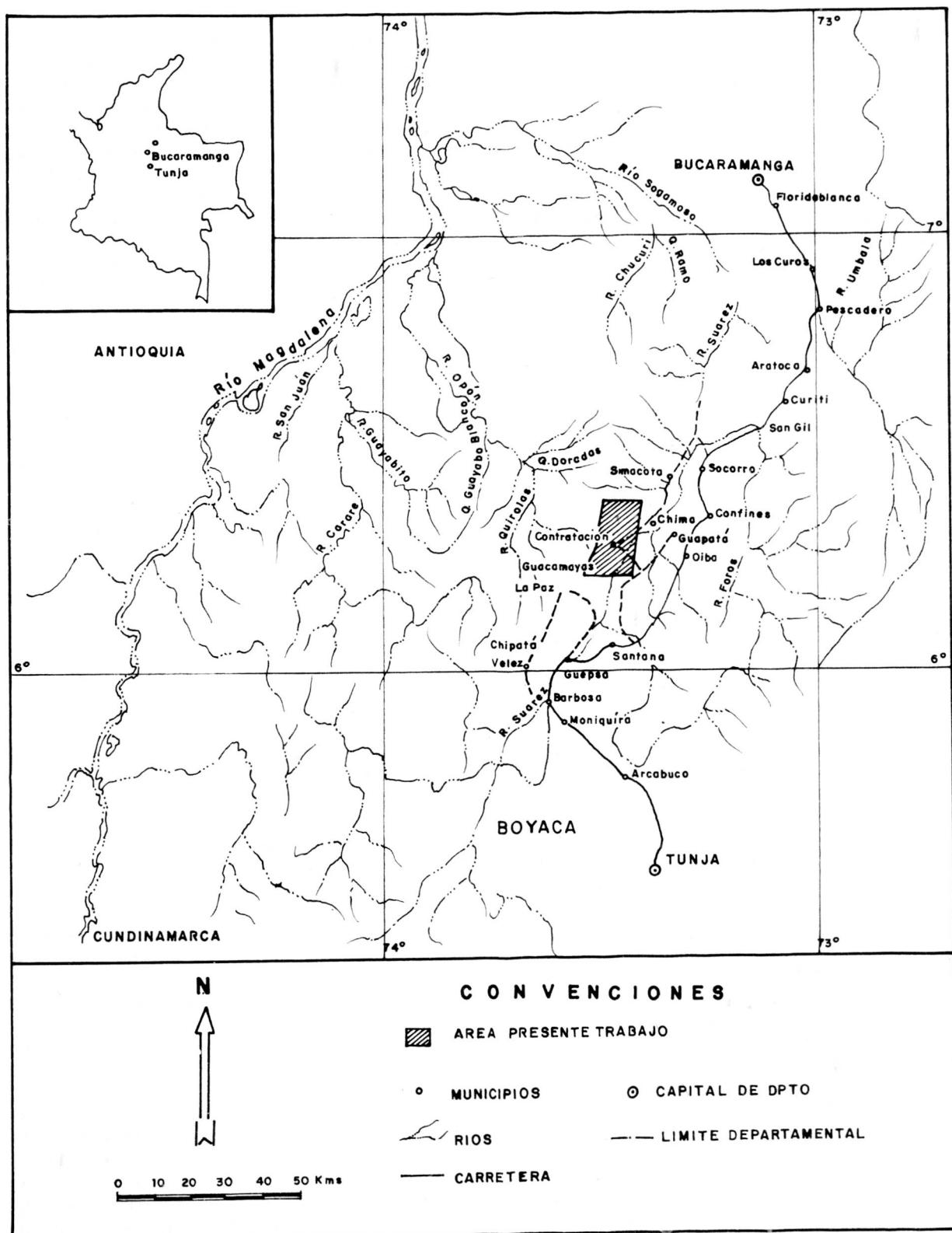


FIG. 1- Área de Localización

interés económico), la serie consta de megaciclos de geometría lenticular constituidos por conglomerados polimíticos, areniscas de grano grueso a fino y limolitas gris verdosas. Los ciclos generalmente aparecen truncados por superficies erosivas, muestran frecuente estratificación cruzada, ocasionalmente gradación inversa, calcos de carga, ondulitas; hacia la base de estos ciclos es frecuente encontrar niveles enriquecidos en materia orgánica, además de fragmentos de tallos y hojas.

Los conglomerados presentan una textura masiva, la matriz es arcillosa y rara vez arenácea, el cemento varía entre calcáreo (siderítico) y silíceo; la selección es mala; composicionalmente predominan el cuarzo y los litoclastos (cuarcita, esquistos muscovíticos, granito, granodiorita), el feldespato es escaso (ortoclasa y plagioclasa sericitizada), los accesorios se identifican como hematita, limonita, pirolusita, psilmelana, pirita y materia orgánica, que varía tanto lateral como verticalmente.

Las areniscas se clasifican como litoarenitas, sublitoarenitas arcósicas, subarcosas y litoarenitas conglomeráticas, la textura clástica es masiva, el cemento es predominantemente silíceo y ocasionalmente calcáreo y ferruginoso, mientras que la matriz es arcillosa o micácea tipo sericítico; la redondez de los granos se ve afectada por sobrecrecimiento autógeno en el cuarzo, lo cual le da una angularidad aparentemente mayor. El cuarzo es el componente principal de estas rocas, luego le siguen el feldespato y los litoclastos, entre los que se destacan fragmentos de rocas sedimentarias: shales negros, chert; de roca volcánica: riolitas, agregados de cuarzo-sericita, de posible origen volcánico y productos de desvitrificación aparentes, de rocas metamórficas: cuarcitas, esquistos, y de rocas ígneas: granodioritas y granitos. Accesorios se identifican: pirita, esfena, zircon, turmalina, ilmenita (leucoxeno) y materia orgánica distribuida irregularmente; en algunas areniscas es notoria la presencia de muscovita.

Como estructuras sedimentarias se observa estratificación cruzada, estratificación gradada, bioperturbación, capas lenticulares, contactos granulares y variación facial lateral.

Los procesos sedimentarios, caracterizados por los rápidos cambios de facies horizontales y verticales, la abundancia de arenas y gravas mal clasificadas, la imbricación de los niveles conglomeráticos, la estratificación cruzada de las capas arenosas, los contactos acanalados de los niveles subyacentes, indican la existencia de un sistema fluvial de cauces entrelazados y meandriformes, en el cual se originaron ambientes oxidantes y sectores reductores restringidos.

### Unidad Limolítica Roja

Suprayace a la unidad gris conglomerática arenosa, conforma fuertes escarpes en el flanco oriental del anticinal, lo que facilita su medición, mientras que hacia el sur, en el cierre del mismo, conforma una amplia pen-

diente estructural, e infrayace en aparente discordancia de bajo ángulo a la Formación Tambor; su espesor varía entre 230 m al norte y algo más de 500 m al sur.

Presenta buenas exposiciones hacia las cabeceras de las quebradas Colorada, Cureña y Chimera; esencialmente está conformada por limolitas rojas que en algunos sitios son más arenosas, con delgadas intercalaciones de areniscas cuarzosas de grano fino, de color rojo, y ocasionalmente grises. Composicionalmente las areniscas son similares a las de la unidad infrayacente, en los 2/3 inferiores de la unidad; hacia el techo, la fracción arenosa es casi nula, ya que predominan básicamente las limolitas rojas.

La distribución de las areniscas y limolitas es el resultado de una sedimentación cíclica; es una continuación de la unidad infrayacente, pero la energía de sedimentación es menor, la lenticularidad de las capas y los cambios faciales fuertes es su característica importante.

La materia orgánica, en forma de restos vegetales, se encuentra comúnmente en las areniscas y limolitas, donde se observa con frecuencia zonas de reducción química con presencia de pirita y óxidos de manganeso. De igual manera abunda el cemento calcáreo en limolitas y es corriente encontrar nódulos calcáreos en ellas; ocasionalmente se observan minerales de cobre, malachita, azurita y calcopirita.

El paso hacia las limolitas rojas, con algunos niveles calcáreos (margas), grietas de desecación, ondulitas y paleocanales amplios indican la transición de un régimen lacustre y/o llanuras de inundación en un ambiente fuertemente oxidante.

### FORMACION TAMBOR. Cretáceo inferior (?)

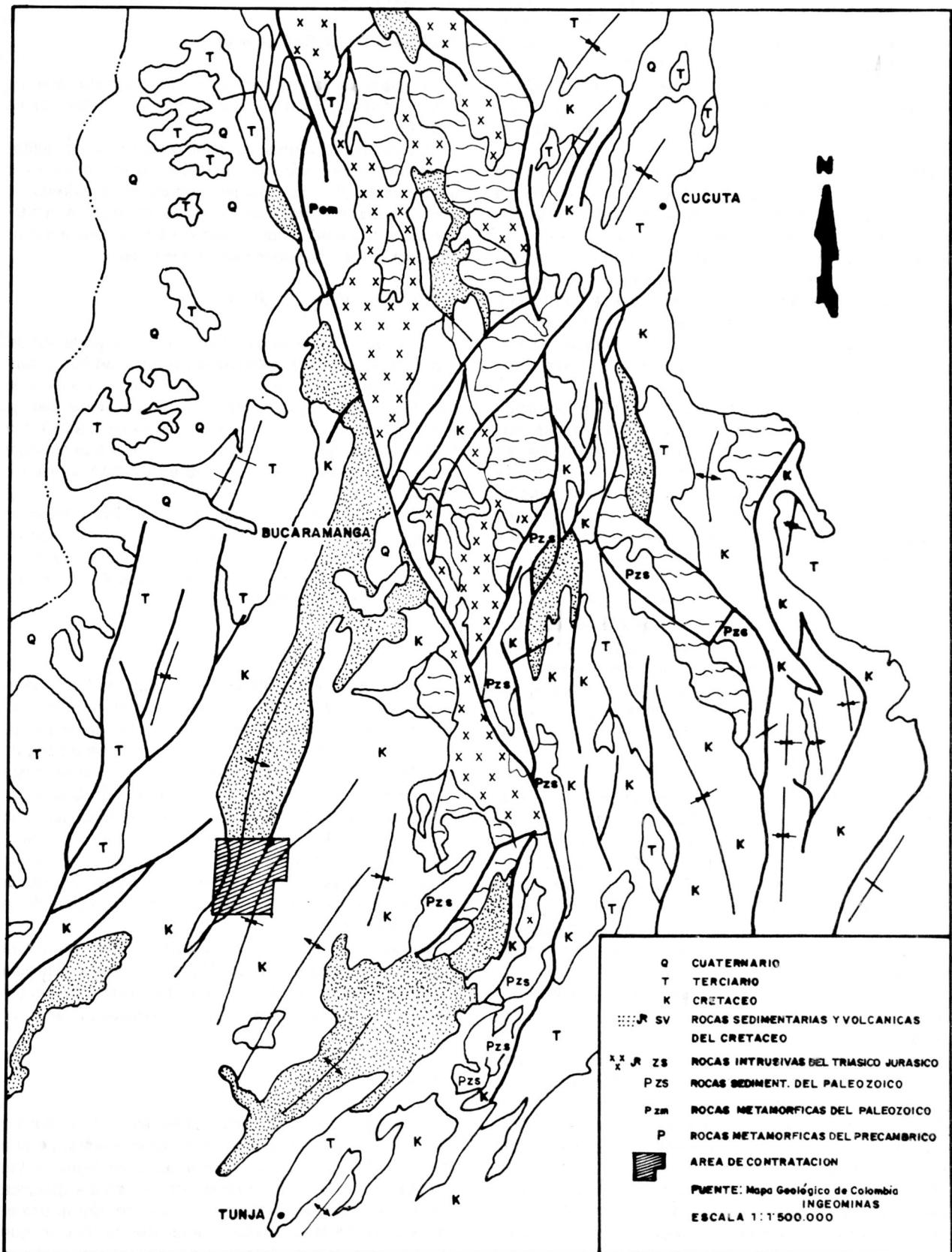
Se le asigna a Hedberg (1931, inédito) el nombre de esta formación, cuya localidad tipo se sitúa en el Cañón del río Lebrija, de acuerdo con Morales *et al* (1958).

Cediel (1968) revisa el término Formación Tambor y propone Formación Los Santos, con localidad tipo la Mesa de Los Santos.

Pulido (1979) efectúa una nueva revisión de la formación, considerando la posibilidad de que pertenezca a la parte superior de la Formación Girón o que, al norte, en la Mesa de Los Santos, exista un cambio facial de la Formación Arcabuco hacia la Formación Tambor, lo que explica la ausencia de esta formación en su estudio, al sur del Anticlinal de Los Cobardes.

Renzoni (1985), postula que los nombres Formación Arcabuco y Formación Tambor se refieren a un mismo cuerpo de lodositas y de arenitas.

Sin embargo, el autor del presente trabajo designa como Formación Tambor la secuencia detritica que se localiza por encima de la Formación Girón en el área, a pesar del incremento anormal en espesor desde el cerro de Pan de Azúcar, hacia el sur; allí, supuestamente, podría ubicarse el cambio facial, es decir la interdigitación de las formaciones Tambor y Arcabuco, en el cierre periclinal del Anticlinal de Contratación.



La Formación Tambor, así considerada, conforma la parte más alta del filo que, en dirección N-S, marca la divisoria de aguas entre las quebradas La Colorada, al oeste y Sardinas y Guayabala, al oriente; hacia el occidente conforma fuertes escarpes, en la región del Cara-re-Opón; al sur de Contratación aparece en fajas este-oeste repetidas por fallas, transversales al eje del anticlinal.

La mejor exposición se localiza en la parte baja de la quebrada Chimera, en el flanco oriental de la estructura principal donde se midieron 430 m. Esta descansa discordantemente (discordancia de bajo ángulo) sobre las limolitas rojas del miembro limolítico e infrayace concordantemente al norte del área, a la Formación Cumbre.

El espesor tiene una marcada variación de norte a sur; en el cerro Pan de Azúcar alcanza aproximadamente 200 m; en la quebrada Chimera fueron medidos 430 m, mientras que hacia el sur de Contratación se observaron más de 800 m.

En el norte, la partes inferior y media de la formación constan de cuarzoarenitas grises claras a blancas, son maduras y presentan buena selección; los fragmentos diseminados de limolitas y arcillolitas son gris rojizos y verdes; ocasionalmente se observan intercalaciones de delgados niveles de arcillolitas rojas y verdes; la parte superior está conformada por delgados niveles de limolitas y areniscas limosas rojizas, ligeramente muscovíticas, intercaladas con arcillolitas grises amarillentas; eventualmente se localizan niveles de cuarzoarenitas.

Hacia el sur y por encima de la anterior, se desarrolla una secuencia de cuarzoarenitas blanco amarillentas, que alternan con limolitas rojas y algunos niveles limolíticos verdes y grises; la estratificación cruzada, los calcos de carga y las ondulitas son frecuentes.

## FORMACION CUMBRE

Renzoni *et al.* (1969) describen un conjunto de areniscas grises oscuras, con estratificación cruzada, interestratificadas con shales negros piritosos, entre las poblaciones de Arcabuco y Monquirá al que asignan el nombre de Formación Cumbre. Suprayaciendo la formación anterior en forma aparentemente paraconcordante, se encuentra una secuencia predominantemente arcillosa, caracterizada por presentar abundantes moldes de bivalvos (*Arcidoes*).

La unidad en este sector se compone en general de arcillolitas gris claro a gris oscuro; ocasionalmente se observan algunos niveles limosos y arenosos de color pardo amarillento y lutitas grises oscuras silíceas, ligeramente muscovíticas; en algunos sectores es notorio el desarrollo de cristales euhedrales de pirita; la estratificación por lo general es planar fina y el espesor de la unidad donde está más desarrollada alcanza como máximo 140 m.

Mendoza (1985) describe la formación como una alternancia de areniscas gris oliva, limolitas, arcillolitas blancas a negras y limolitas rojas que pudieron haberse depositado en los comienzos de la transgresión del

Cretáceo sobre una llanura costera aluvial.

## FORMACION ROSABLANCA

Se atraviesa la secuencia en la carretera que de Chima conduce a Contratación y por la carretera de La Llanita a El Opón.

La base de la formación está constituida por lutitas calcáreas grises oscuras de hasta 20 m de espesor, interestratificadas con shales negros no calcáreos; le siguen arcillolitas laminadas pardo oscuras a amarillentas y termina hacia el techo con calizas masivas intercaladas con delgados niveles arcillosos.

## GEOLOGIA ESTRUCTURAL

En el área, las rocas presentes forman la parte sur del gran anticlinal que constituye la Serranía de los Cobardes (Fig. 4), que caracteriza el domo tectónico de más de 200 km de longitud, que se extiende desde Lebrija hacia el sur, donde el cierre periclinal se ve afectado por fallas que cortan normalmente a su eje dando lugar localmente a fuertes escarpes que dificultan la accesibilidad.

Es probable que la actividad tectónica haya influido en la migración del uranio, así como en la constitución de trampas geológicas y su sellamiento por lo cual se hace necesaria una consideración algo detallada de los pliegues y las fallas de la región.

### Pliegues

La estructura dominante es el Anticlinal de Los Cobardes, que en el área corresponde a su parte meridional. La característica principal del pliegue es su asimetría ya que el plano axial buza hacia el occidente con un ángulo entre 50° y 70°, su flanco occidental se inclina hasta 30°, mientras que el oriental alcanza los 70°. Los ángulos de buzamiento en el cierre del anticlinal se suavizan (máximo 25° - 30°) conformando el cabeceo del mismo; aquí son frecuentes las fallas perpendiculares a su eje, lo que da lugar algunas veces a repetición de la secuencia estratigráfica, y otras a la eliminación de la mayor parte de la misma.

Pliegues menores, subordinados a la estructura principal, se observan específicamente en la charnela del anticlinal; allí los buzamientos, debido al cabeceo del eje, son más suaves, y en algunos casos alcanzan valores de 10° a 15°.

### Fallas

En la región, la más importante es la falla del río Suárez, que separa el anticlinal, por el oriente, de una zona de formas suaves y menos complejas; estas últimas contrastan fuertemente con el área específica estudiada. En el presente trabajo se consideran únicamente aquellas fallas menores a las del río Suárez, que de una u otra forma afectan el núcleo del anticlinal y la

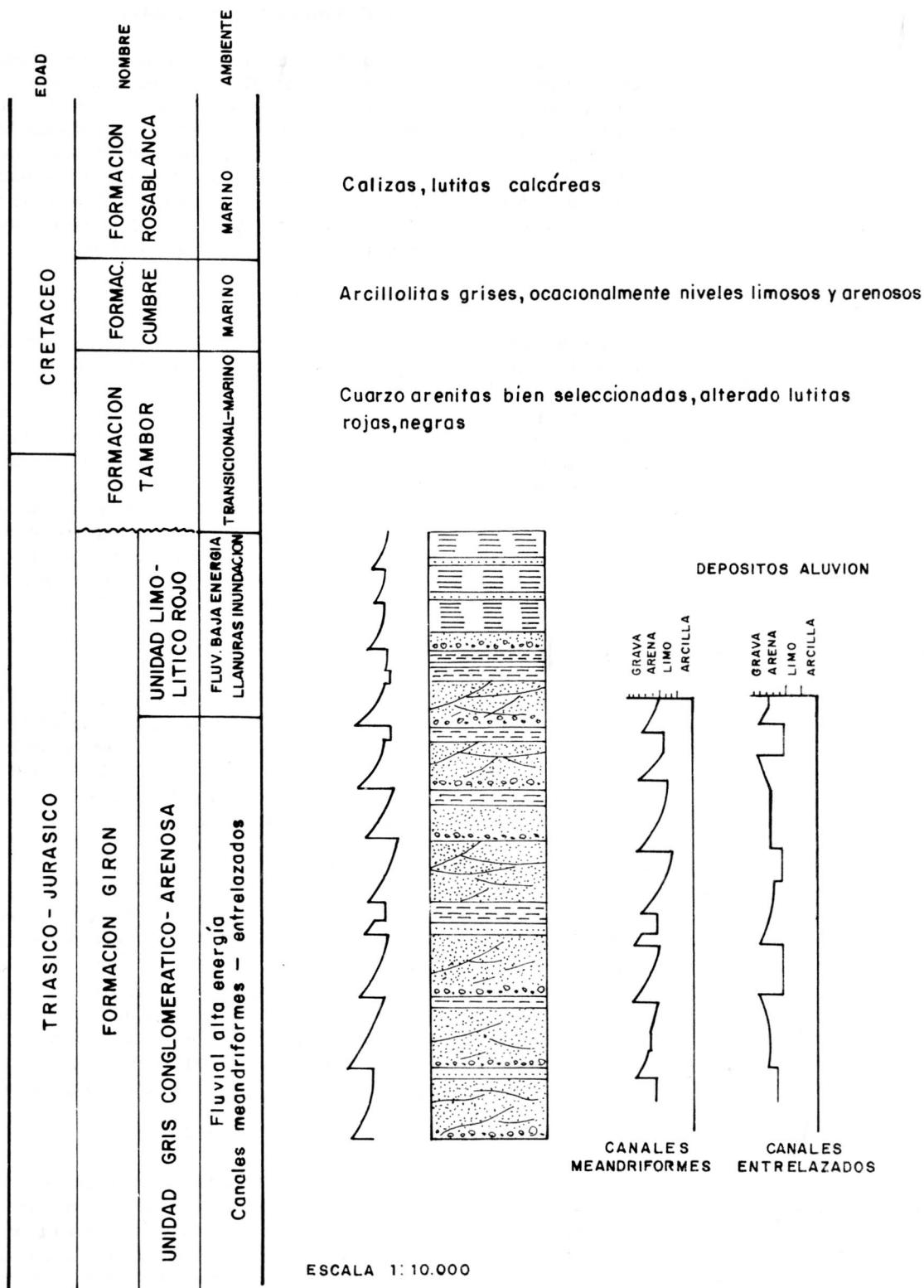


FIG. 3 - Columna Estratigráfica. Área de Contratación - Chima

Formación Girón.

### Falla Aguablanca

Controla principalmente el curso de la quebrada del mismo nombre (NE Guacamayo) y afecta la Formación Tambor. Aunque la falla se presenta cubierta en su totalidad, su presencia se hace manifiesta por la abundante fracturación en sus inmediaciones, el alineamiento topográfico y los marcados cambios en los buzamientos de los bloques adyacentes; al parecer presenta un considerable salto vertical, el bloque S descendiendo respecto al bloque N.

### Falla de La Aguafria

Controla el curso inferior de la quebrada del mismo nombre, afecta las calizas de la Formación Rosablanca y su rumbo cambia de Norte-Sur a Noreste. Su expresión morfológica y su trazo topográfico sugieren una falla de alto ángulo, normal, buzando hacia el este. El bloque oriental habría descendido aproximadamente 200 m en la parte sur y 100 m hacia el norte, en las cercanías de la falla del Río Suárez.

### Falla Guacamayo

En el sector de la población epónima presenta un curso aproximado N 20° - 30° E; más al norte, al igual que la falla anterior cambia a N 40° - 50° E; al sur se bifurca en dos ramas que divergen manteniendo rumbos generales NE-SW; presenta un desplazamiento vertical de 100 m hacia el sur y 50 m hacia el norte, habiendo descendido el bloque SE; conforma una falla normal de alto ángulo.

### Falla de La Colorada

Este accidente transversal (dirección aproximada E-W) parece corresponder a una falla de inflexión ya que sus efectos fuertes se observan en la parte alta de la quebrada del mismo nombre, en tanto que hacia el E, cerca de su desembocadura en la quebrada Aguafria sus efectos son más débiles. Hacia el W es posible que el plano adquiera un buzamiento menor debido a que su trazo presenta una expresión sinuosa. El desplazamiento máximo al W es de aproximadamente 300 m, ascendiendo el bloque Sur.

### Falla de la Quebrada Santa Rosa

Corresponde a otra estructura transversal que cruza el anticlinal en las cercanías de la población de Contratación; su prolongación hacia el E, hasta la falla del Río Suárez ha sido inferida, pues la quebrada Santa Rosa, cuyo curso es controlado en su totalidad por la falla no presenta exposiciones en su lecho. El bloque sur se ha levantado aproximadamente 100 m, pero el tipo de movimiento de la falla no es exactamente cono-

cido.

### Falla El Aliñadero - La Aguadita

Corresponde a un conjunto de fallas que desplazan las formaciones Girón, Cumbre y Rosablanca; son observables y controlables en el carreteable Chima-Contratación. La dirección del trazo de la Falla La Aguadita coincide con el rumbo de los estratos, mientras que la Falla de El Aliñadero es perpendicular a ese rumbo. En este sector la Falla El Aliñadero- La Aguadita es normal; incluso es aparente que la componente de desplazamiento horizontal es mayor que la vertical.

### Falla La Cureña

Es otro importante accidente tectónico transversal a la estructura; controla el curso de la parte superior de la quebrada Cureña. Si se considera la expresión morfológica del terreno, el plano de falla puede ser vertical en las cercanías del núcleo y hacia el flanco oriental del anticlinal; al W del mismo la falla se asocia con otras menos importantes.

Se considera una falla de inflexión ya que los efectos de brechamiento son muy fuertes hacia el W en tanto que hacia el E disminuyen notoriamente; el bloque S asciende respecto al bloque N y su desplazamiento vertical máximo podría alcanzar los 500 m.

### Falla de Palo

Su expresión morfológica sugiere que el plano de falla buza hacia el E; se considera, en base a los pliegues de arrastre, que el bloque E ha subido respecto del W, dando un carácter inverso a la falla. El comportamiento de la falla es similar hacia el N y hacia el S, pasando a ser fracturas asociadas a ejes de flexión.

### Otras fallas

Fuera de las mencionadas, en el área pueden detectarse una serie de pequeñas fallas que afectan los limos rojos de la Formación Girón y las capas arenosas de la Formación Tambor; generalmente presentan saltos verticales menores de 50 m: teniendo en cuenta la subhorizontalidad de las estrías de fricción se puede pensar que las fallas son principalmente de desplazamiento horizontal, siendo su juego de carácter dextrolateral.

## GEOQUIMICA DEL URANIO

El elemento Urano hace parte de la familia de los Actínidos; su número atómico es 92 y constituye un elemento oxífilo que se presenta bajo la forma de ión tetravalente y de ión hexavalente; asociado a dos iones de oxígeno constituye el ión uranilo. En el proceso de meteorización de los minerales primarios y en medios ácidos proporciona sales solubles de uranilo; en medios básicos origina uranatos insolubles y en presencia del

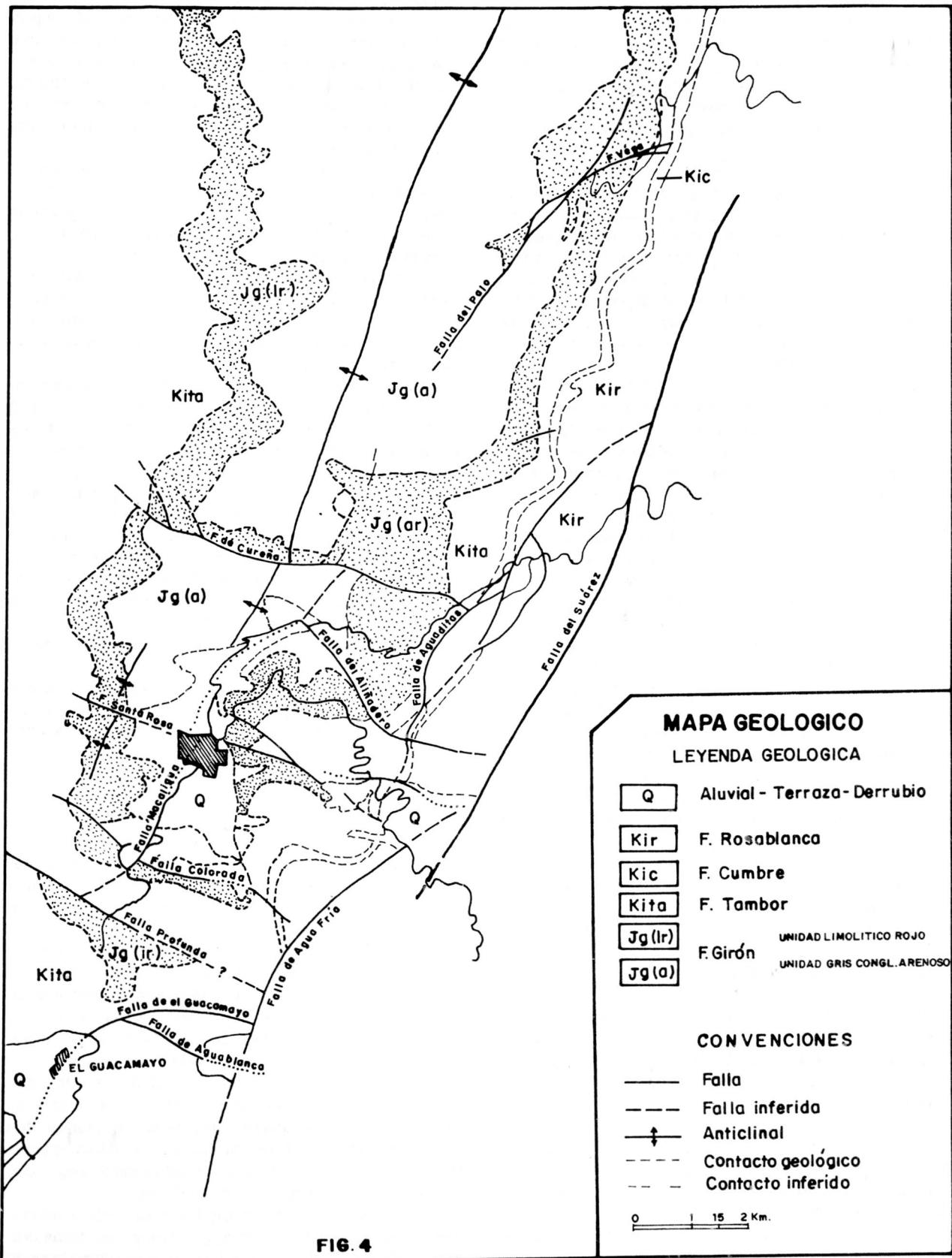


FIG. 4

$\text{CO}_2$  produce complejos carbonatados solubles.

La utilización geoquímica en la fase de exploración se restringe al estudio de aureolas de dispersión en el proceso mecánico, salino y gaseoso preferencialmente, produciendo una alteración supergenética con la oxidación parcial del urano tetravalente aumentando la hidratación, silicificación y fosfatización de los productos finales.

Los factores de concentración de depósitos uraníferos están controlados principalmente por procesos tectónicos; concentración, cuando existen fracturas antiguas de compresión, migración cuando se presentan fracturas posteriores de extensión, y procesos físico-químicos cuando existen rocas ricas en silicatos ferro-magnesianos y rocas hiper-feldespáticas o procesos metasomáticos con alteraciones a plagioclasa sódica, o cuando se presentan niveles ricos en materia orgánica o niveles carbonatados.

En la migración de soluciones uraníferas la naturaleza del mineral primario, la porosidad y fracturamiento de la roca, el clima, el ambiente óxido-reductor, las soluciones de diferente pH, más la presencia de materia orgánica, la existencia de magnetita y pirita y la poca alteración de feldespatos condicionan para la formación de diferentes tipos de depósitos (Kazumi *et al.*, 1975).

Depósitos en conglomerados oligomíticos de guijos de cuarzo en matriz cuarcítica rica en pirita ocurren principalmente en depresiones y paleocanales. Aquí es importante la proximidad de inconformidades, la densidad de empaque y la cantidad de matriz pirítica.

En el caso de depósitos epigenéticos controlados litológica y estratigráficamente, estos se desarrollan mejor en areniscas y arcosas de grano medio a grueso en ambientes fluviales, algunas veces aluvial y otras con carácter lagunal o delfático. El control tectónico para la mineralización ocurre a lo largo de zonas permeables de fallas con mineralizaciones de pechblenda y coffinita en el medio reducido, carnotita y tyuyamunita en el medio oxidado y la presencia de elementos accesorios como el V, Se, Cu y Mo (Shawe, 1.975).

La concentración en porcentaje de  $\text{U}_3\text{O}_8$  en este tipo de mineralizaciones alcanza valores extremos de 0.01 a 0.4 % o concentraciones más bajas pero en algunos casos con reservas más extensas.

## Mineralizaciones en el área

Las principales manifestaciones uraníferas se restringen principalmente a la cuenca de la quebrada La Colorada al NE de la población de Contratación (Fig. 5).

### Sector 1

La empresa ENUSA COLOMBIANA denominó nivel Guare 1-2 y El Detalle a una franja de 1.8 km de longitud y 60 - 80 m de espesor localizada en la parte superior del Miembro Arenoso Gris y Miembro Limolítico Rojo conforma un conjunto de capas lenticulares de conglomerados, areniscas y limolitas de rumbo SW-NE y una

inclinación promedio de 40° hacia el E.

Las areniscas son arcósicas con un contenido importante de fragmentos líticos, grano medio a grueso, mal seleccionados, de color gris a gris verdoso; los conglomerados están compuestos por gránulos de cuarzo, fragmentos líticos y feldespatos embebidos en una matriz arenosa; las limolitas generalmente son de color verde a gris claro.

El carácter lenticular de las capas hace que la variación litológica vertical y lateral sea rápida; coincidiendo con este hecho, los niveles mineralizados alcanzan en algunos casos una extensión de 100 m, aunque en otros no pasan de un par de metros.

Las partes mineralizadas se encuentran estrechamente relacionadas con materia orgánica, algunas veces con óxidos de manganeso y minerales de vanadio; independientemente se observa materia orgánica que no está asociada a minerales uraníferos.

Los principales minerales de uranio identificados en este sector son coffinita, carburano de uranio (tucholita), pechblenda, gumita y torbernitita, asociados a malaquita, azurita, calcopirita y pirita principalmente.

En la base del Miembro Limolítico Rojo se presenta una secuencia de areniscas arcósicas, grano predominantemente fino, selección regular a buena, color gris verdoso a pardas y café a café rojizo. Las limolitas son verdosas, estratificadas en capas delgadas mientras que las limolitas rojas son de mayor espesor; en este conjunto es notoria la presencia de óxidos de hierro y manganeso, pirita, muscovita, materia orgánica, fragmentos líticos y cemento calcáreo; ocasionalmente se observan sulfuros de cobre.

Los espesores máximos anómalos alcanzan hasta 8 m, desapareciendo rápidamente en el sentido lateral; los contenidos de  $\text{U}_3\text{O}_8$  van de 0.03% hasta valores altos de 0.6% con promedios de 0.14%.

### Sector 2

Al norte del Sector 1 en los niveles La Negra y La Oveja (ENUSA COLOMBIANA) se localiza un afloramiento de 70 m de longitud con rumbo N60°E y buzamiento de 32° SE, con un espesor máximo de 12 m en el costado sur de la quebrada Perica.

Este afloramiento representa la secuencia y estructura de un depósito aluvial, constituido por un conglomerado que rellena un paleocanal, representa un ciclo completo desarrollado sobre un ciclo anterior erosionado, limitado al norte por una falla normal donde parece existir un control tectónico a la mineralización.

Las areniscas que delimitan los conglomerados son sublitoarenitas y subarcosas, variando a areniscas líticas gruesas; los componentes de los conglomerados son esencialmente guijos de cuarzo, cuarcitas, clastos de areniscas y limolitas intraformacionales con abundante materia orgánica hacia la base.

La presencia de materia orgánica se asocia íntimamente a carburanos de uranio, gumitas y vanadatos uraníferos (Francevillita), lo que hace que la mineralización

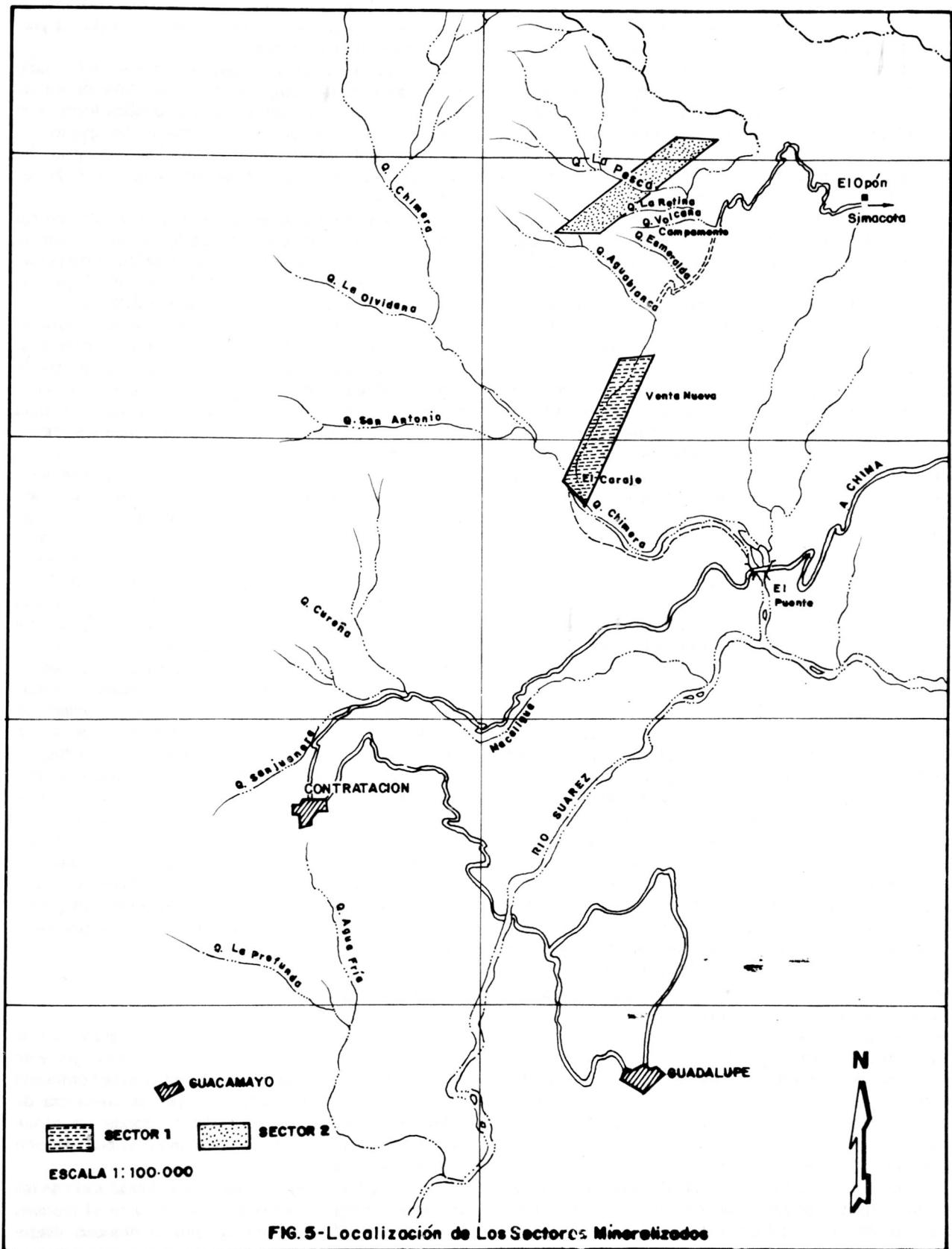


FIG. 5-Localización de Los Sectores Mineratizados

sea de tipo vanadio-urano en la zona de oxidación.

Las areniscas se depositaron en un ambiente oxidante y la materia orgánica le dió el carácter reductor indispensable para la precipitación de los minerales de uranio; la presencia de vanadatos (Francevillita y Vanadinita) inducen a pensar que existió y así lo exige este tipo de mineralización, una concentración relativamente alta de las soluciones que lo originaron y por ende una distancia de movilización relativamente corta; esto permitiría plantear la hipótesis de que en este nivel pudo existir un enriquecimiento mayor por removilización de uranio a partir de algún otro ciclo que erosionó el mineral para finalmente hacer parte del ciclo inmediatamente posterior.

Por otra parte, en el límite norte, que se encuentra fallado, se presenta una mayor concentración que induce a pensar que se trata de una reconcentración de mineral tipo "stack".

En otros niveles diferentes las características estratigráficas y petrográficas son similares; difieren en un mayor contenido de óxidos de manganeso y pirita secundaria que es donde se asocian las mineralizaciones uraníferas. Los promedios de concentración para uranio son más bajos, situación que se explicaría por el poco espesor de las capas radimétricamente altas, o por el grado de alteración de la roca en superficie.

### Mineralización y tipo de yacimiento

Todos los indicios de mineralización en el área están situados en la parte alta del Miembro Arenoso Gris y en la parte baja del Miembro Limolítico Rojo de la Formación Girón.

El Miembro Arenoso Gris consiste en megaciclos de geometría lenticular, constituidos por conglomerados polimicticos, areniscas de grano grueso a fino y limolitas gris verdosas. Los ciclos aparecen generalmente truncados por superficies erosivas, muestran frecuente estratificación cruzada, localmente gradación inversa y contienen niveles enriquecidos en materia orgánica, principalmente tallos y hojas. Los procesos sedimentarios caracterizados en esta unidad indican la existencia de un sistema aluvial de cauces entrelazados y meandriformes en un ambiente químicamente reductor, mientras que el paso a las limolitas rojas, que en algunos sitios revelan la presencia de sedimentos calcáreos de poco espesor indican la transición a un régimen lacustre y/o llanuras de inundación en un ambiente fuertemente oxidante.

Los indicios uraníferos se encuentran principalmente en la base de los niveles conglomeráticos o intercalados en las areniscas, incluso a veces en las limolitas grises, pero siempre en relación con la presencia de materia orgánica y pirita, lo que indica la presencia de un ambiente francamente reductor.

Las areniscas están constituidas esencialmente por cuarzo y micas, clorita y sericit tanto detríticas como diagenéticas. Hay también fragmentos líticos de cuaritas y rocas de origen volcánico.

La mineralización es contemporánea con la sedimentación, siendo fijada por la materia arcillosa más los productos reducidos presentes.

Un hecho a destacar es que la diagénesis ha dado lugar a una buena compactación y cementación de los sedimentos y a una total o casi total desaparición de la porosidad, lo que, si por una parte, ha evitado la lixiviación del uranio contenido en las areniscas, ha impedido, por otra, su posible concentración en zonas tectónicamente favorables.

Los principales minerales primarios de uranio son los carburanos, producidos por reemplazamiento de la materia vegetal por el uranio lixiviado de las formaciones cristalinas paleozóicas y Precambriano del Macizo de Santander, que se erosionaron durante el Jurásico.

Entre los minerales secundarios de uranio, aparte de las gumitas que reemplazan seudomórficamente a la materia carbonosa uranífera, los más abundantes son la coffinita, el uranotilo y los vanadatos, especialmente la francavillita y sengierita. Hay también, aunque en baja proporción, malaquita, azurita y en algunos casos sulfuros de cobre.

Desde un punto de vista metalogenético, la mineralización corresponde a la paragénesis U-V-Cu, asociada con rocas detríticas, predominando la presencia de uranio con respecto a los otros dos elementos, así como la presencia de materia orgánica que está estrechamente relacionada a la supergénesis; de otra parte, el reemplazamiento por minerales de uranio es inferior a la materia orgánica presente en toda el área, lo que indicaría una fuente uranífera pobre (Fischer, 1975).

Es necesario hacer aquí una consideración de la magnitud y calidad de los depósitos a prospectar; dadas las concentraciones reportadas en los frentes de trabajo para el  $U_3O_8$  y suponiendo que parte del uranio podría haber sido lixiviado de los afloramientos, la presencia en algunos de ellos de pirita y cantidades relativamente pobres de sulfuro de cobre, hace pensar que la erosión y la oxidación se están desarrollando a la misma velocidad y que, por lo tanto, la ley se mantendrá aproximadamente igual en profundidad. En este sentido, la asociación de uranio con la materia orgánica acumulada en las areniscas fue relativamente pequeña, concluyéndose que los yacimientos serán pobres y discontinuos.

### CONCLUSIONES

Las mineralizaciones uraníferas se localizan en la parte alta de la unidad conglomerática-arenosa gris y en la parte baja de la unidad limolítica rojiza de la Formación Girón; ellas estarían controladas por la presencia de paleocanales y zonas de inundación donde las condiciones de óxido-reducción influyeron en la precipitación de estos minerales.

El uranio presente en el área ha sido introducido en las areniscas, conglomerados y lutitas durante el proceso de sedimentación y fijado durante el proceso diagénético por la materia orgánica que creó el ambiente

reductor.

La alta diagénesis ha dado lugar a una alta compacación y cementación de los sedimentos, lo que ha conducido a una casi total desaparición de la porosidad; este hecho ha evitado la lixiviación del uranio y la removilización del mismo; de esta forma se han reducido las posibles concentraciones anormales en zonas tectónicamente favorables.

Los procesos erosivos ocurren a la misma velocidad que la oxidación, por lo tanto es improbable que el contenido de uranio aumente en profundidad; es posible concluir que las mineralizaciones económicamente explotables sean discontinuas y de poco tonelaje a lo largo de los niveles sedimentarios.

La presencia conjunta de materia orgánica no mineralizada y uranio indica que la fuente uranífera fue pobre; esta podría estar ligada a las rocas ígneas (pegmatitas) presentes en el Macizo de Santander.

Las mineralizaciones corresponden a la paragénesis U-Cu-V asociada a rocas detríticas.

#### AGRADECIMIENTOS

El autor manifiesta un agradecimiento muy especial al Profesor Carlos Villarreal por su invaluable colaboración en la lectura y corrección del manuscrito, y a la Sección de Dibujo del Departamento de Geociencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

#### REFERENCIAS CITADAS

- CEDIEL, F. (1968): El Grupo Girón, una Molasa Mesozoica de la Cordillera Oriental.- Boletín Geológico, Vol. XVI.
- ENUSA COLOMBIANA (1982): Informes Proyecto Contratación-Chima.- IAN, Bogotá.

FISCHER, R. (1975): The Uranium and Vanadium Deposits of the Colorado Plateau Region.- U. S. Geological Survey. Denver, Colo.

KAZUMI, D. et al. (1975): Uranium Mineralization by Ground Water in Sedimentary Rocks. Japan.- Economic Geology, Vol. 70.

MENDOZA, H. (1985): La Formación Cumbre, modelo de transgresión marino rítmica, de comienzo del Cretácico.- Proyecto Cretácico. Publ. Geol. Esp. 16; Ingeominas.

MORALES, L. et al. (1958): General Geology and oil occurrences of Middle Magdalena Valley. Colombia.- Habitat of oil, Symposium, Am. Ass. Petr. Geolo.

NAVAS, G. (1963): Estudio Estratigráfico del Girón al W del Macizo de Santander (Cordillera Oriental, Colombia) Boletín de Geol. No. 12, U.I.S.

PULIDO, O. (1979): Geología de las Planchas 135 San Gil y 151 Charalá, Depto. Santander.- Inf 1802. Boletín Geológico, No. 2, Ingeominas.

RENZONI, G. et al. (1969): Geología del Cuadrángulo J-12.- Inf 1546. Serv. Geol. Nat. Bogotá.

RENZONI, G. (1985): Paleoambientes en las Formaciones Arca buco y Cumbre de la Cordillera de Los Cobardes. Proyecto Cretácico. Publ. Geol. Esp. 16. Ingeominas.

SHAWE, D. et al. (1975): Potential for Sandstone. Type Uranium Deposits in Jurassic Rocks, Khorat Plateau Thailand.- Economic Geology. Vol. 70.

*Manuscrito recibido, Marzo 11 de 1990*