

INFORME PRELIMINAR

ROCA FOSFATICA EN COLOMBIA

POR

JAMES B. CATHCART ¹
SERVICIO GEOL. DE LOS EE. UU.

FRANCISCO ZAMBRANO ²
INVENTARIO MINERO NACIONAL

INFORME No. 1516

DICIEMBRE 1966

CON UNA SECCION SOBRE FOSFATOS DE TURMEQUE, BOYACA

POR

PEDRO E. MOJICA G. ²
INVENTARIO MINERO NACIONAL

-
- (1) Publicación aprobada por el Director. U. S. Geological Survey.
(2) Publicación aprobada por el Director. Inventario Minero Nacional.

SERVICIO GEOLOGICO NACIONAL
BOGOTA, D. E. 1967

CONTENIDO

	Págs.
Resumen y Abstract	71
Introducción	73
Agradecimientos	74
Geología	75
Estratigrafía	75
Cretáceo	76
Terciario	82
Estructura	85
Geología de fosforitas marinas con relación a su búsqueda en Colombia	86
Mapa paleogeográfico de Colombia	89
Desarrollo del miogeosinclinal cretáceo	90
Litofacies	90
Métodos de investigaciones en el campo	93
Registros de rayos gamma	94
Geología Económica	94
Yacimientos marinos de fosfato	94
El Huila y otras localidades en el sur de Colombia	108
Area Girardot-Ortega	111
Formación Guadalupe — Bogotá a Duitama	129
Depósitos de fosforita cerca a Turmequé, Boyacá, por Pedro Mojica	131
Otros afloramientos en el Departamento de Boyacá	133
Formación La Luna, Santander y Norte de Santander	134
Táchira, Venezuela	139
Guajira	140
Programa de Exploración	141
Yacimientos de Guano	142
Areas agrícolas de Colombia y su relación con los yacimientos de fosforita	143
Conclusiones y Recomendaciones	144

	Págs.
Sardinata y áreas adyacentes	145
Turmequé y áreas adyacentes	145
Pandi - Cunday	146
San Vicente y áreas adyacentes	149
Ortega - Girardot	149
Area Elías - Timaná	150
Caparrapí	150
Suratá - California	150
Alto del Trigo - La Sierra	150
Terciario marino	151
Consideraciones Económicas	152
Beneficio y tratamiento químico de las rocas fosfáticas	152
Transporte	157
Azufre	157
Probabilidades de explotación y producción de fertilizantes	158
Bibliografía	160

ILUSTRACIONES

	Páginas
Fig. 1. Mapa índice de Colombia, que muestra los principales aspectos tectónicos, localización de los registros de rayos gamma y la localización de las figuras 6, 7, 8 y 9	77
Fig. 2. Columnas estratigráficas del Cretáceo en la Cordillera Oriental, que muestran la disminución de los espesores hacia el norte y cambios de litología (según Campbell, 1965) .	83
Fig. 3. Mapa de Isopacas del Senoniano, Departamento de Cundinamarca, mostrando su relación a la presencia de fosfato (isopacas, según Bürgl, 1961)	87
Fig. 4. Mapa paleogeográfico, al finalizar el Cretáceo que muestra la relación de la presencia de fosfato a la facies en el miogeosinclinal entre 90 y	91
Fig. 5. Localización de los yacimientos de fosfato entre 95 y	97
Fig. 6. Mapa esquemático de las áreas Girardot-Ortega y Pandi-Cunday	113
Fig. 7. Mapa esquemático del área La Sierra-Alto del Trigo-Caparrapi	123
Fig. 8. Mapa esquemático del área entre Bogotá y Duitama, que muestra la distribución de la Formación Guadalupe y sus afloramientos de fosfatos	151
Fig. 9. Mapa esquemático de Santander, Norte de Santander y Táchira, Venezuela, que muestra los afloramientos del miembro Galembo de la Formación La Luna e información de las muestras entre 134 y	135
Fig. 10. Principales áreas agrícolas y zonas de fosfato en Colombia entre 144 y	145
Fig. 11. Mapa fotogeológico del área de Turmequé, que muestra las localidades de fosfato (modificado del mapa de Geophoto, Inc., localización de las muestras, según Pedro Mojica), entre 131 y	132

C U A D R O S

Cuadro 1. Correlación del Cretáceo de la Cordillera Oriental de Colombia (según Bürgl, 1961)	79
Cuadro 2. Correlación de los registros de rayos gamma (localización de las áreas mostradas en la Figura 1)	95
Cuadro 3. Datos analíticos y de muestras de rocas fosfáticas en Colombia 97 a	107

ROCA FOSFATICA EN COLOMBIA *

R E S U M E N

La exploración para fosfato en Colombia fue exitosamente llevada a cabo durante 3 meses y medio por el Inventario Minero Nacional del Ministerio de Minas y Petróleos de la República de Colombia, con la asesoría del Servicio Geológico de los Estados Unidos, bajo los auspicios de la Agencia para el Desarrollo Internacional. La teoría de la exploración basada en estudios modernos de depósitos de fosforita, indica que el fosfato se deposita en el miogeosinclinal adyacente al foreland o craton, donde se pueden formar partes más profundas del océano, donde la deposición de material clástico es mínima, y donde las corrientes ascendentes depositan una serie de rocas caracterizadas por chert, arcilla negra, rocas carbonáticas y fosforita.

Los trabajos previamente realizados en Colombia habían demostrado que el fosfato está presente solamente en rocas de edad cretácea, y que es más abundante en rocas del Cretáceo Superior en las formaciones Guadalupe y La Luna, de la Cordillera Oriental.

A B S T R A C T

Exploration for phosphate rock in Colombia was successfully carried out in 3½ months by the Inventario Minero Nacional of the Ministry of Mines and Petroleum of the Republic of Colombia and the V.S. Geological Survey with financial assistance of the U.S. Agency for International Development. The theory of exploration, based on modern studies of phosphorite deposits, is that phosphate often is deposited in the miogeosyncline adjacent to the foreland or craton, where deeper parts of the ocean can form and where deposition of clastic material is at a minimum, and where upwelling currents deposit a suite of rocks characterized by chert, black shale, carbonate rock, and phosphorite.

Previous work in Colombia had demonstrated that phosphate is present in rocks of Cretaceous age, and is most abundant in rocks of Late Cretaceous age—the Guadalupe and La Luna formations— of the Eastern Cordillera.

* Este informe fue preparado originalmente por el autor J. B. Cathcart para un Boletín del Servicio Geológico Norteamericano, y posteriormente fue traducido al español, para este Boletín.

INTRODUCCION

El fosfato, uno de los tres principales nutrientes de las plantas, se encuentra en la naturaleza en tres condiciones genéticas principales: como guano, o derivado del guano, como apatita ígnea asociada con rocas alcalinas, y como depósitos marinos de fosfato. Los depósitos marinos suministran el 75% de la producción mundial de fosfato.

La búsqueda de fosfatos en Colombia empezó en los primeros meses del año 1942 (Hubach, 1952), y de 1944 a 1952 el Servicio Geológico Nacional efectuó algunos trabajos sobre depósitos de guano en cuevas y en las islas cercanas de las costas (Paba Silva, 1949; Sarmiento A. y Sandoval, 1947; Suárez H., 1948). Algunos trabajos de reconocimientos fueron hechos durante estos años en las rocas cretáceas de la Cordillera Oriental. (Sarmiento A., 1947; Sarmiento S., 1941, 1942, 1943a, 1943b). En un resumen Wokittel (1960) concluyó que no había depósitos económicos de fosfato en Colombia. En 1961, Bürgl empezó un estudio de fosfato en la Cordillera Oriental de Colombia (Bürgl y Botero, 1962). El trabajo indicó que la fosforita está concentrada en rocas del Cretáceo Superior, particularmente en el Senoniano. Slansky (1963) llevó a cabo un estudio sobre fosfato y concluyó que el Cretáceo Superior era el intervalo estratigráfico más favorable y que la parte occidental de la Cordillera Oriental era el área más favorable para el desarrollo de fosfato con posibilidades económicas.

Así, el programa cooperativo del Inventario Minero Nacional y del Servicio Cooperativo Geológico de los Estados Unidos incluía un plan para buscar fosfato en las rocas cretáceas de la Cordillera Oriental, empezando en el occidente de Cundinamarca, donde Bürgl había reportado fosfato. Se encontraron rocas fosfáticas en varias localidades en la Zona IV del Inventario Minero y al occidente de ella, y en rocas de edad Cretáceo-Superior en la Zona III del mismo organismo, cerca a Bucaramanga.

El fosfato se conoce y ha sido extraído de las rocas del Cretáceo Superior (formación La Luna) en la mina de Lobatera en Venezuela (Harrington, Ward y McKelvey, 1966), cerca a la ciudad de Cúcuta en Colombia.

El programa del Servicio Geológico Norteamericano, apoyado por la Agencia para el Desarrollo Internacional, fue llevado a cabo con la total colaboración del Inventario Minero Nacional. El autor norteamericano gastó cerca de 4 meses en Colombia, desde agosto hasta diciembre de 1966, en un proyecto de asesoría para constatar todos los yacimientos de fosfato marinos que habían sido encontrados en el país, para determinar su economía y decidir si cualquiera de ellos podría ser explotado y beneficiado, y además determinar dónde debería continuarse buscando posibles depósitos económicos de fosfato.

AGRADECIMIENTOS

El trabajo en Colombia no hubiera sido posible sin la completa cooperación del personal del Inventario Minero Nacional, y queremos agradecer en especial al doctor Darío Suescún Gómez, Director del Proyecto. El doctor Marino Arce acompañó a los autores en el campo y fue extremadamente útil en todos los aspectos del trabajo de campo y de oficina. Los doctores Pedro Mojica, Gilberto Manjarrés, Raúl Perea y Jaime Cruz, geólogos del Inventario Minero, ayudaron a los autores en el campo. Su ayuda es reconocida con gratitud. El personal del Servicio Geológico de los Estados Unidos fue de una gran ayuda en las varias zonas, guiando a los autores a los afloramientos fosfáticos e indicando detalles de estructura y estratigrafía. Es un verdadero placer reconocer la ayuda de Donald H. McLaughlin, Jr., Dwight E. Ward y Charles M. Tschanz, del Servicio Geológico Norteamericano. Earl M. Irving, jefe del proyecto de cooperación del Servicio Geológico de los Estados Unidos, con el Inventario Minero, fue extremadamente útil en todos los aspectos del trabajo.

Las muestras fueron analizadas por el personal del Laboratorio Químico Nacional, a quienes expresamos nuestros sinceros agradecimientos por tan valiosa colaboración.

G E O L O G I A

Los accidentes fisiográficos de Colombia están dominados por las Cordilleras Andinas, que forman un ancho cinturón con dirección hacia el norte en la longitud total del país. En Colombia, la cadena de montañas de los Andes forma tres cordilleras, separadas por valles (Fig. 1). De occidente a oriente, los principales rasgos tectónicos son la cuenca del Pacífico, la Cordillera Occidental, la hoya del Cauca, la Cordillera Central, la hoya del Magdalena, la Cordillera Oriental, la cuenca de Los Llanos y el Escudo de la Guayana.

La fisiografía controla el transporte en el país. El transporte de este a oeste es muy difícil, debido a las altas cadenas de montañas y a los valles profundos; la mayoría del transporte se hace de norte a sur.

La Cordillera Occidental y la Cordillera Central fueron parte de una profunda cuenca eugeosinclinal en el Cretáceo, la cuenca de Los Llanos y el Escudo de Guayana formaron el cratón o foreland del miogeosinclinal cretáceo, y solamente la Cordillera Oriental contiene rocas del miogeosinclinal cretáceo. Las rocas terciarias en el interior del país son marinas-continentales; las rocas terciarias marinas están limitadas a la Costa del Pacífico y a la Costa septentrional del país.

ESTRATIGRAFIA

Se han notado rocas fosfáticas solamente en rocas de edad cretácea en la Cordillera Oriental de Colombia. Las rocas de edad cretácea en la Cordillera Occidental y en la Cordillera Central están en la facies eugeosinclinal, y están compuestas de una serie gruesa de rocas clásticas y volcánicas. Esta facies no es apropiada para fosfato en cantidades económicas. Las rocas terciarias en el interior del país son continentales (Bürgl, 1961). Los registros de rayos gamma no muestran anomalías radioactivas en rocas de edad terciaria. Las rocas marinas terciarias de la Costa del Pacífico desde Buenaventura hacia el sur hasta la frontera con el Ecuador comprenden una serie de arcillas, arenas y conglomerados

hasta de 5.000 metros de espesor. En esta región el Mioceno tiene cerca de 3.000 metros de espesor sobre el río Guapi, pero se adelgaza hacia el norte y hacia el sur (Oppenheim, 1949). El Mioceno Superior y Medio en el Golfo de Urabá tiene 1.300 metros de espesor (Oppenheim, 1949). Hay muy pocas probabilidades de depósitos económicos de fosfato en gruesas secciones de Terciario marino. Las rocas marinas del Mioceno de la costa norte y en la península de la Guajira contienen unos granos esparcidos de fosfato.

CRETACEO

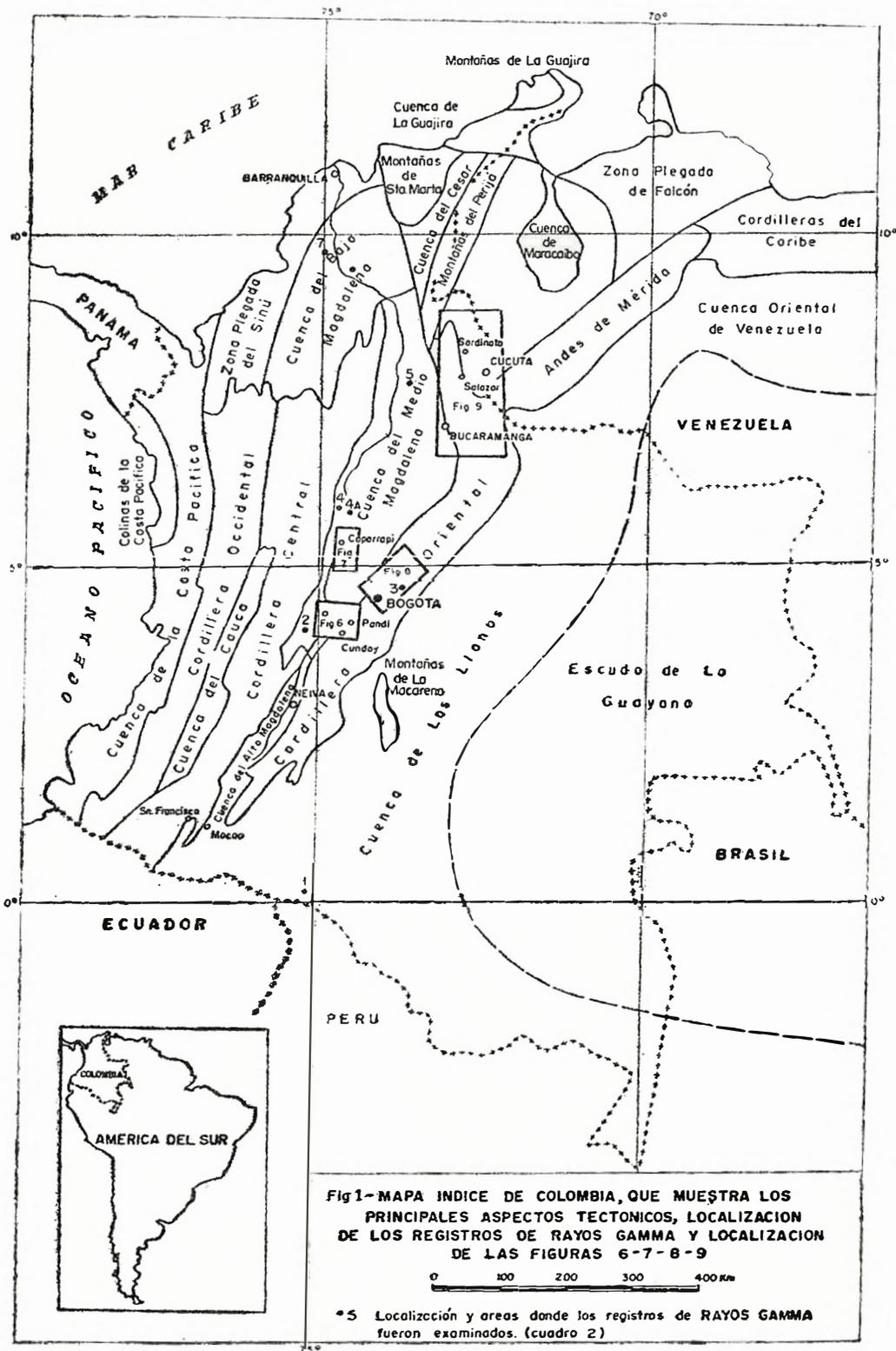
La discusión de la estratigrafía del Cretáceo se reducirá a la Cordillera Oriental, la única área que es favorable para fosforita.

El Cretáceo de la Cordillera Oriental estuvo marcado por repetidas transgresiones marinas y por oscilación del piso del miogeosinclinal de la provincia Andina Oriental, lo que produjo una variedad de facies, y como consecuencia, de nombres estratigráficos. La estratigrafía del Cretáceo de la Cordillera Oriental se indica en el Cuadro de Correlación (Cuadro 1), el cual fue copiado de Bürgl (1961).

Se han encontrado capas de fosforita únicamente en la parte superior de la sección cretácea en las formaciones La Luna y Guadalupe, pero también hay capas fosfáticas con un contenido de P_2O_5 en cantidades menores en el Grupo de Villeta. Bürgl (1961) señala que la mayoría del Guadalupe Inferior no puede diferenciarse litológicamente del Villeta Superior y que el límite es arbitrario. Como se nota en el Cuadro 2, el Villeta en algunos de los registros de pozos incluye cherts superiores e inferiores (una parte de la Formación Guadalupe de Bürgl), lo cual es un claro ejemplo de la dificultad de determinar el límite.

Los cambios de facies en la parte superior del Cretáceo están bien indicados en Cundinamarca. Al este de Bogotá la Formación Guadalupe es una sección gruesa de material clástico —arenisca y arcilla de color claro a rojizo. Esta facies subyace en gran parte de la Sabana de Bogotá y se extiende al occidente de Facativá. Los depósitos de sal de Zipaquirá pueden estar en esta facies o cerca de ella (McLaughlin, comunicación oral, 1966). Sobre el flanco occidental del anticlinorio de Villeta, el Cretáceo Superior en el Alto del Trigo está formado por caliza, arcilla calcárea y chert, y la sección es mucho más delgada que la sección clástica hacia el Este.

En el Alto del Trigo, Bürgl (citado en Thompson, 1966) llama las calizas fosfáticas Santonianas: Miembro Galemo de



MAR CARIBE

PANAMA

OCEANO PACIFICO

ECUADOR



75°

70°

Montañas de La Guajira

Cuenca de La Guajira

BARRANQUILLA

Montañas de Sta Maria

Zona Plegada de Falcón

Cordilleras del Caribe

Cuenca de Maracaibo

Cuenca Oriental de Venezuela

Andes de Mérida

CUCUTA

BUCARAMANGA

VENEZUELA

Cuenca del Medio Magdalena

Cuenca del Magdalena Oriental

BOGOTA

Escudo de Lo Guayano

BRASIL

PERU

Cuenca de Los Llanos

Montañas de La Macarena

San Francisco

Mocoo

Cuenca del Alto Magdalena

Cuenca de la Costa Pacifica

Cuenca del Cauca

Cordillera Occidental

Cordillera Central

Cordillera Oriental

Cuenca del Sinú

Cuenca del Boya

Magdalena

Montañas del Cesar

Montañas del Putumayo

Serdineta

Salazar

Fig 9

Fig 6

Fig 7

Fig 8

Fig 9

Edades europeas		Alrededores de Bogotá Hettner 1892, Hubach 1957	Santander Morales ET AL. 1958	Mérida-Perijá-Guajira NOTESTEIN & ALT. 1944	
Superior	Maestrichtiano	Guadalupe	Guaduas inferior	Catatumbo	
			<u>Arenisca tierna</u>	Mito Juan	
	Campaniano		<u>Arenisca dura</u>		
	Senoniano		<u>Lidita superior</u>	Colón Shale	
	Santoniano		<u>Lidita inferior</u>		
	Coniaciano				
	Turoniano		La Frontera		
	Cenomaniano		<i>Exogyra mermeti</i> , Caliza de Chipaque		
Inferior	Albiano	Villeta	<u>Arenisca de Une</u>	Caliza de Salto	
	Aptiano		<u>Nivel de Colombiceras</u>	Simití Shale	
	Barremiano			Caliza de Tablazo	
	Neocomiano	Hauteriviano	Cáqueza		Formación La Paja
		Valanginiano		Arenisca de Cáqueza	Formación Rosa Blanca
		Berriasiano		Pizarra de la Culebra	Formación Tambor
		Esquistos de Sáname			
	Titoniano			Río Negro	

CUADRO 1- CORRELACION DEL CRETACEO DE LA CORDILLERA ORIENTAL DE COLOMBIA

(según H. BÜRGL, 1961)

la Formación La Luna. Los cherts en la sección pueden ser equivalentes en edad al chert inferior de la Formación Guadalupe.

Una variación similar de facies ocurre hacia el sur, en el límite de Cundinamarca y Tolima. Aquí, la sección en Pandí y Cunday está en la facies arenosa de la plataforma, mientras que la sección en Ortega, hacia el Occidente, está en la facies caliza-arcilla-chert. (Fig. 4).

El Cretáceo Superior en Santander y Norte de Santander, Formación La Luna, es chert, caliza, arcilla negra y fosforita. La facies desde Soatá al norte hasta cerca de Pamplona es arcilla negra-chert-caliza, con algunas capas muy delgadas de caliza arenosa fosfática, mientras que hacia el norte y el occidente, en Salazar, Sardinata y San Vicente, la facies es chert y fosforita. Las capas de fosforita son hasta de 2 metros de espesor y tienen un alto contenido en P_2O_5 .

Todavía más hacia el norte, sobre la península de la Guajira, la formación La Luna está formada por caliza en capas delgadas, arcilla calcárea, poco chert, y casi no contiene fosfato. De acuerdo a Bürgl (1961) el Cretáceo Superior en la península de la Guajira es una facies de caliza arenosa que él considera como un cambio de la facies del miogeosinclinal a una facies de mar epicontinental. Rollins (1965) indica que la Formación La Luna en la parte sur de la Guajira está sobre la plataforma (posiblemente epicontinental) pero que en la parte septentrional de la península, la sección de La Luna se ensancha y es una facies de agua más profunda.

El adelgazamiento del Cretáceo hacia el norte, y el cambio de litología de una sección predominantemente clástica en el área de Bogotá a una sección predominantemente calcárea en la Cuenca de Maracaibo están bien indicadas en la sección transversal (fig. 2) de Campbell (1965, fig. 4).

Las rocas de edad cretácea subyacentes a la formación Guadalupe en el área de Bogotá, son predominantemente clásticas-finas-arcilla negra y arenisca fina, con unas pocas capas de caliza de las formaciones Cáqueza y Villeta (Cuadro 1). La arcilla negra en la formación Villeta es radioactiva, y las capas delgadas de caliza arenosa en la formación contienen algo de fosfato (Bürgl y Botero, 1961). En Santander, las rocas cretáceas que están debajo de la formación La Luna están constituidas por arcilla, caliza y arenisca basal: formación Tambor. Las capas de arenisca negra son radioactivas, pero no se conocen capas fosfáticas en estas formaciones. Todavía más hacia el norte (Cuadro 1), las formaciones

Cogollo y Yaruma están formadas por caliza y arcilla y no contienen fosfato.

En el área de Bogotá, las rocas de la parte más alta de la formación Guadalupe son areniscas. La formación Guaduas, que sobreyace al Guadalupe, es arcillosa y contiene algunas capas de carbón. La formación Guaduas representa una transición entre las formaciones marinas del Cretáceo y las formaciones no marinas del Terciario. La formación Umir que sobreyace la formación La Luna está formada por arcilla y arenisca fina. Las capas de arcilla son radioactivas, y levemente fosfáticas, pero no hay capas fosfáticas conocidas. Las formaciones Colón, Mitojuan y Catatumbo de la Cuenca de Maracaibo están constituídas por arcilla y arenisca y no se sabe que sean fosfáticas.

TERCIARIO

Las rocas marinas terciarias en Colombia están restringidas a la Costa del Pacífico y a la Costa septentrional del Caribe. Las rocas terciarias en las cuencas interandinas son continentales-fluvio-lacustres, o depósitos de abanicos aluviales. Los sedimentos continentales terciarios varían en edad entre el Eoceno y el Plioceno, y están formados por arena, arcilla y conglomerado. Las rocas terciarias en las cuencas interandinas tienen una variedad de nombres stratigráficos (Cuadro 2). No se conoce fosfato en ninguna de estas rocas, y los registros de rayos gamma no indican anomalías radioactivas. Hay poca probabilidad de que se encuentren depósitos comerciales de fosfato en las rocas continentales de edad Terciaria.

El Terciario marino de la Costa del Pacífico ha sido descrito por Oppenheim (1949). En el área entre Buenaventura y la frontera con el Ecuador, el Mioceno y el Plioceno juntos, tienen cerca de 5.000 metros de espesor. En una sección transversal Oppenheim (1949, Fig. 3), muestra que el Mioceno se engruesa hacia el sur desde Buenaventura hacia el río Guapi y luego se adelgaza en el Ecuador y Perú. La sección del Mioceno también se adelgaza levemente al norte, desde Buenaventura hacia el Golfo de Urabá. El Mioceno está formado por arcilla, arena y conglomerado y no contiene fosfato.

Las rocas marinas del Mioceno en la península de la Guajira fueron brevemente examinadas: son caliza arenosa carmelita y arcilla calcárea. La caliza es fosilífera y contiene solamente un 0.5% P_2O_5 .

La sección terciaria en la península de la Guajira (según Rollins, 1965), es como sigue:

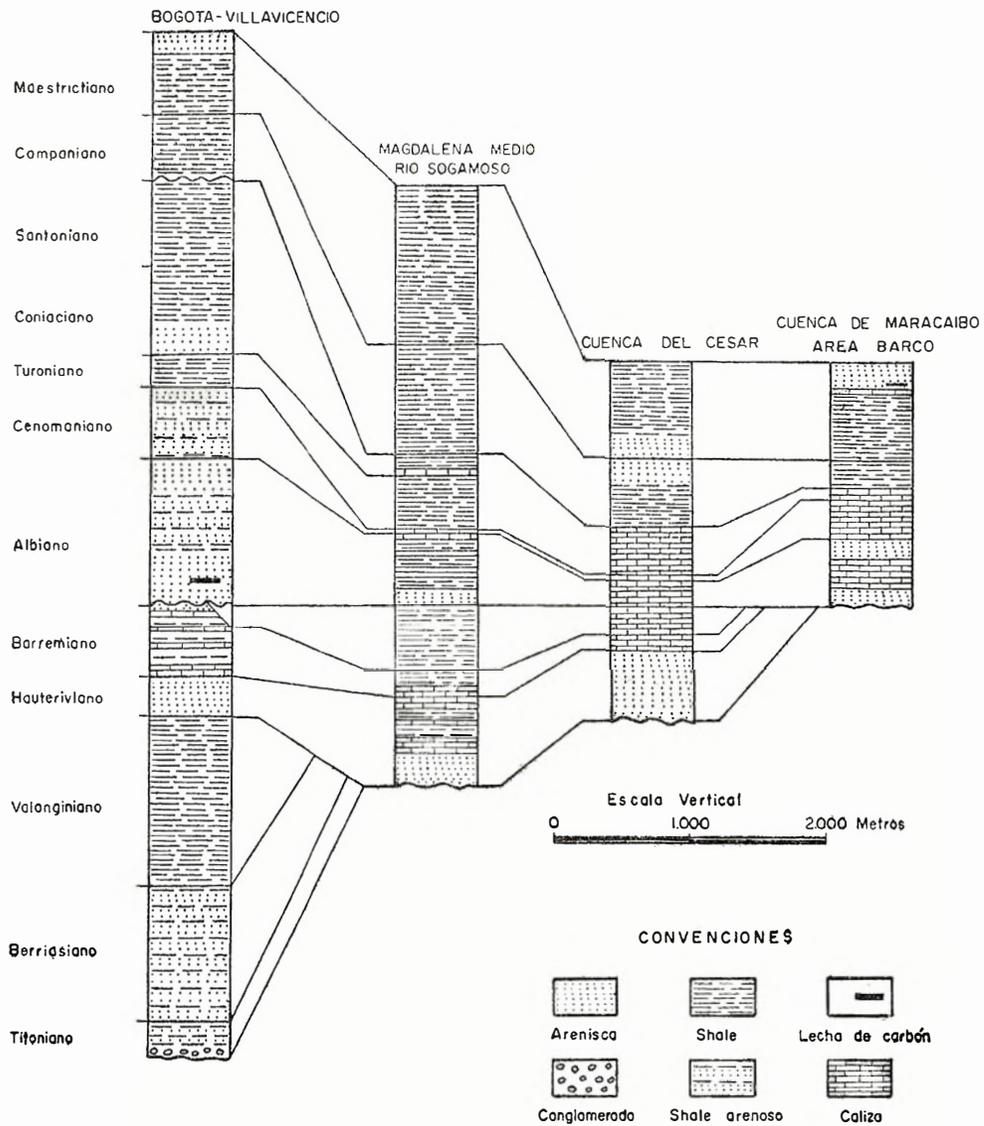


Fig 2- COLUMNAS ESTRATIGRAFICAS DEL CRETACEO EN LA CORDILLERA ORIENTAL QUE MUESTRA LA DISMINUCION DE ESPESOR Y CAMBIOS DE LITOLOGIA HACIA EL NORTE (SEGUN CAMPBELL, 1965)

Formación Tucacas.—Arcilla y caliza arcillosa. La parte baja de la formación es Mioceno Inferior, y Rollins sugiere que la formación se puede extender dentro del Plioceno.

Formación Jimol.—Caliza arenosa, interestratos de arcilla. La parte basal es Oligoceno Medio; el resto de la formación es Oligoceno Superior.

Formación Uitpa.—Arcilla que contiene yeso. Oligoceno Medio.

Formación Sillimana.—(Formación Siamana). Caliza, interestratos de arcilla y un conglomerado basal. Oligoceno Medio. La parte más baja de la formación puede ser Oligoceno Inferior.

Formación Nazareth.—Caliza arenosa. Eoceno Medio a Superior. Correlación con la Formación Macarao.

ESTRUCTURA

No es posible discutir la estructura de la Cordillera Oriental sino en una forma general. Bürgl (1961) señala que el plegamiento suave del miogeosinclinal y del eugeosinclinal empezó en el Santoniano, continuó durante este período, y llegó a un máximo al cierre del período. Como resultado del plegamiento se presentaron sinclinatorios o cuencas de subsidencia al principio del Cenozoico y en ellas se acumularon depósitos muy gruesos de rocas terciarias y cuaternarias. Los anticlinorios fueron repetidamente levantados durante el Cenozoico y detritos de las partes altas se depositaron continuamente en las cuencas. La estructura de la Cordillera Oriental es muy compleja en detalle. Las capas están plegadas y falladas —tanto por cabalgamiento como normalmente— y como consecuencia el tonelaje de los depósitos de fosforita es difícil de computar. Debido a la estructura, el fosfato en la mayoría de los yacimientos tendría que ser extraído por métodos subterráneos. Solamente en unas pocas localidades hay alguna posibilidad de minería a cielo abierto.

La posibilidad de que los depósitos de fosforita, especialmente aquellos de la facies de plataforma, estén controlados estructuralmente, ha sido señalada por Bendor (1953) y por Cathcart y Osterwald (1954). La fosforita de la facies de plataforma en el oriente de los Estados Unidos está depositada en cuencas formadas sobre los flancos de anticlinales o domos que se fueron levantando al tiempo con la sedimentación. Evidentemente la profundidad del agua al tiempo de la deposición es un factor en la precipitación de la fosforita.

Un mapa de isópacas del Senoniano (Bürgl, 1961, fig. 25) muestra una serie de áreas gruesas y delgadas, alineadas en una dirección noreste-suroeste (Fig. 3). Bürgl señala que la variación

en espesor se debe al plegamiento que empezó durante el Senoniano Inferior. La localización de los yacimientos de fosfato indica una correlación con el espesor. La mayor parte del fosfato fue depositado durante el Senoniano, y los mejores depósitos están en las áreas más delgadas. La correlación es demasiado buena para ser estrictamente coincidental, y parece que el fosfato fue depositado en o cerca a los flancos de los anticlinales que se estaban levantando (en las áreas de secciones más delgadas), y que la profundidad de las aguas fue un factor. La distribución de los mejores depósitos de fosforita en la Cordillera Oriental puede estar ligada al cuadro de la estructura local, así como a su posición en las partes más profundas del miogeosinclinal.

GEOLOGIA DE FOSFORITAS MARINAS CON RELACION A SU BUSQUEDA EN COLOMBIA

En muchas partes del mundo las indicaciones de la localización de las facies fosforíticas se pueden definir por la paleografía en relación a la existencia de corrientes oceánicas ascendentes. Kasakov (1937) fue el primero en proponer que el fosfato se deposita en áreas donde haya corrientes oceánicas ascendentes, y su concepto fue elaborado por McKelvey y otros (1953) para explicar la depositación de las fosforitas de la formación Phosphoria pérmica de la región noroccidental de los Estados Unidos de América. Más tarde esta teoría fue desarrollada y extendida para definir las secuencias laterales y verticales de las facies donde las aguas ascendentes ricas en fosfato suben de las profundidades sobre un fondo inclinado hacia las costas (McKelvey, 1963; McKelvey y otros, 1959; Sheldon, 1964a, 1964b). El concepto de facies que es el más útil en la búsqueda de yacimientos fosfóricos, prevé su depositación sobre un fondo inclinado hacia la costa y la depositación de un conjunto de rocas sedimentarias de arcillas y fosforitas en las áreas más profundas de la cuenca, pasándose a una facies de calizas y chert con un poco de fosfato más cerca a la costa, hasta una facies de areniscas aproximándose a la costa. La facies arenosa puede contener algunas capas de fosfato, pero por lo general no están bien desarrolladas y sus tenores y espesores son inferiores en comparación con aquellas facies depositadas a mayor profundidad.

Las corrientes ascendentes de las cuales el mineral apatita en fosforitas es precipitado en océanos modernos, se encuentran únicamente entre las latitudes 40° norte y sur y a lo largo del lado

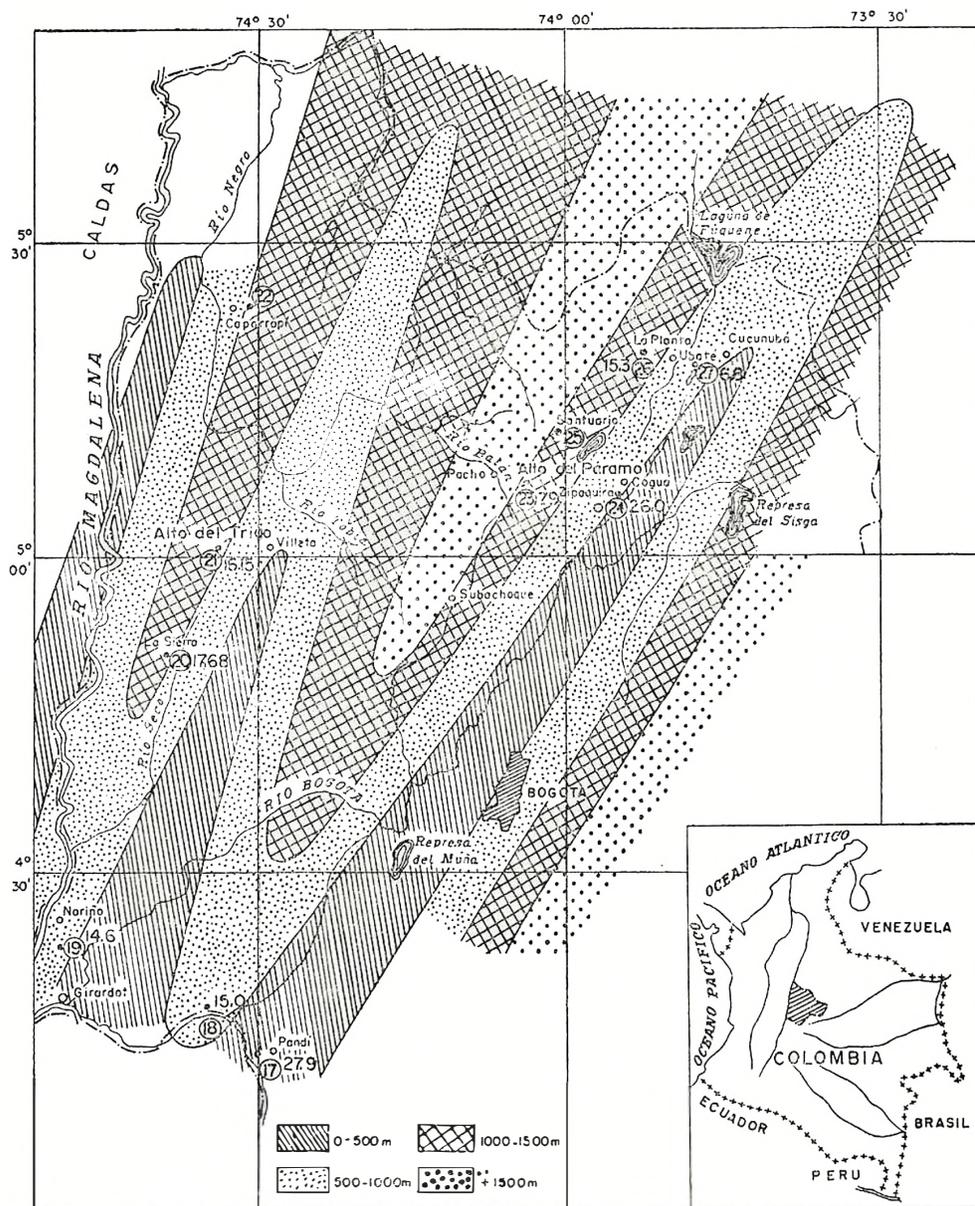


Fig. 3-MAPA DE ISOPACAS DEL SENONIANO, DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA, MOSTRANDO SU RELACION A LA PRESENCIA DE FOSFATO

0 10 20 30 40 50 Km.

(Isopacas según Bürgli, 1961)

occidental de los continentes. En la reconstrucción de la paleogeografía de las formaciones fosforíticas más antiguas se indica que ellas también fueron depositadas en situaciones semejantes (Sheldon, 1964b). Casi todos los depósitos antiguos requieren que la cuenca de depositación sea abierta y expuesta a la circulación oceánica por largos períodos geológicos.

Generalmente los depósitos de fosforita representan columnas estratigráficas delgadas. La precipitación de fosfato es lenta, y por eso las secciones que contienen capas fosfáticas son bastante delgadas comúnmente. En secciones más gruesas, que contienen grandes cantidades de sedimentos clásticos o volcánicos, si se precipitara el fosfato, sería dispersado en grandes volúmenes de materiales no fosfáticos y no se formarían yacimientos económicos.

El ambiente tectónico que se requiere para condiciones que permitan o causen aguas ascendentes en relación con la circulación oceánica, y la poca depositación de materiales clásticos o volcánicos es el miogeosinclinal. Estudios de los yacimientos marinos económicos de fosforita en el mundo demuestran que muchos fueron depositados en ambientes miogeosinclinales (McKelvey, 1963; Sheldon, 1964b).

La importancia de la paleogeografía en la localización de fosforita requiere atención, pero como es obvio no es posible reconstruir mapas paleogeográficos de todos los momentos del tiempo geológico. Se han encontrado fosfatos de origen marino en todos los períodos del tiempo geológico, desde el Pre-Cámbrico hasta el Reciente, pero depósitos económicos y comerciales se encuentran solamente en estratos de relativamente pocos períodos geológicos: Cámbrico, Ordovícico, Devónico, Pérmico, Cretácico Superior, Eoceno Inferior y Mioceno.

MAPA PALEOGEOGRAFICO DE COLOMBIA

La facies de fosforita en muchas partes del mundo se puede definir por la paleogeografía y por corrientes oceánicas ascendentes (Kasakov, 1937; McKelvey, 1963; Sheldon, 1964a, b). En Colombia, el fosfato se ha encontrado solamente en rocas de edad cretácea (Bürgl y Botero, 1962; Slansky, 1963), en las rocas del miogeosinclinal de la Cordillera Oriental, y las mejores ocurrencias de fosfato fueron confinadas a las formaciones La Luna y Guadalupe, de edad Cretáceo Superior (Santoniano y Campaniano) En agosto, 1966, se conocían ocurrencias de fosfato cerca de Neiva en el Departamento del Huila, al sur, hasta áreas cerca de

las poblaciones de California y Suratá en el Departamento de Santander, en el norte, y en la mina Lobatera, en el Estado de Táchira, en Venezuela.

DESARROLLO DEL MIOGEOSINCLINAL CRETACEO

Al final del Paleozoico, la deformación y el levantamiento produjeron el desarrollo de cuencas interiores de deposición. Durante el Triásico y el Jurásico las cuencas fueron el sitio de deposición aluvial, pero al principio del Cretáceo la depresión a lo largo del lado oriental de la presente Cordillera Oriental se convirtió en el sitio de deposición marina. En la depresión misma se depositó arcilla orgánica negra, mientras que al mismo tiempo el material clástico más grueso se depositaba en las márgenes del geosinclinal (Belding, 1955). Las condiciones marinas en la depresión continuaron hasta el Cretáceo Superior, pero como lo anotó Bürgl (1961) el Cretáceo de la Cordillera Oriental fue marcado por repetidas transgresiones marinas y por oscilaciones del fondo del miogeosinclinal que produjeron una variedad de facies y de nombres estratigráficos (Fig. 1).

Así, un miogeosinclinal se formó en Colombia durante el período Cretácico y sedimentos fosfáticos fueron depositados en el geosinclinal durante el Cretáceo Superior. Un mapa paleogeográfico del tiempo Cretáceo Superior fue reconstruido con toda la información publicada y disponible. (Fig. 4).

La posición del foreland o cratón en el miogeosinclinal del Cretáceo Superior fue tomada de Weeks (1947), modificada en cierta forma del mapa paleogeográfico del Cretáceo Superior de Campbell (1965). La posición de la línea que separa el miogeosinclinal y el eugeosinclinal, según Campbell está modificada en parte.

La información disponible publicada y los mapas geológicos indicaron que el miogeosinclinal a la latitud de Bogotá fue angosto pero que se amplió hacia el norte con rumbo a Cúcuta y la Cuenca de Maracaibo, y hacia el sur cerca a la frontera con el Ecuador. Esto sugiere que la dirección de movimiento de las corrientes ascendentes oceánicas durante el Cretáceo Superior podrían haber sido desde el norte o noroeste y/o desde el sur o suroeste, especialmente teniendo en cuenta la posición del área levantada en la Cordillera Central, como lo indica Campbell (1965).

LITOFACIES

Los cambios de facies en el miogeosinclinal, desde sedimentos clásticos del "foreland" a arcillas negras-chert-fosforita en las

áreas de aguas más profundas, es un indicio importante para localizar posibles yacimientos económicos de fosforita. Por eso, fue importante que en las investigaciones de campo de los afloramientos de fosforita se tratara de relacionar la posición de cada afloramiento en el miogeosinclinal y con las facies dentro de él. Investigaciones de campo indicaron que existían por lo menos dos facies, una clástica y arenosa representada por la formación Guadalupe, y otra de caliza-arcilla negra-chert representada por la formación La Luna. Ambas facies contienen capas de fosforita. Se hicieron una serie de travesías cruzando el miogeosinclinal para tratar de definir la posición de cada una de estas facies.

En la sección al Este de Bogotá, hacia el borde del "foreland" el Cretáceo Superior está formado por una sección gruesa de rocas clásticas de color claro, arenisca de grano fino a medio, arcilla gris (limolita) silícea, y unas pocas capas muy delgadas de arenisca fosfática. Esta sección es típica del área cerca al "foreland", donde la sección clástica es gruesa y contiene muy poco fosfato, sin interés económico. La sección cerca al lago de Tota, al norte es semejante a la sección este de Bogotá. Las capas fosfáticas contienen espesores de 0.2 a 0.3 m y solo hasta 7% P_2O_5 .

Hacia el oeste, más lejos del "foreland" y hacia la cuenca, la facies arenosa contiene buenas capas de arena fosfórica, tales como cerca a Elías, Cunday y Turmequé. Las capas fosfáticas llegan hasta 2 m en espesor y pueden contener de 25 a 30% de P_2O_5 . Todavía más hacia el oeste, en la parte más profunda de la cuenca del miogeosinclinal, la facies cambia de arena a caliza-chert-arcilla negra. Esta facies contiene capas calcáreas fosfáticas de 0.1 - 0.2 m de espesor y contienen hasta 17% P_2O_5 , como en la Sierra, en Alto del Trigo y en Caparrapí. La facies en este punto del geosinclinal no es la facies de fosforita, la cual debió ser depositada al oeste, hacia el río Magdalena. Se hizo un recorrido hacia el oeste que demostró que durante el Cretáceo Superior fue arrojado material clástico grueso dentro de la cuenca. El material clástico debió venir del oeste, y los mapas paleogeográficos de Campbell (1965) demuestran que había un área positiva en la posición de la Cordillera Central durante el Cretáceo Superior. Así, el miogeosinclinal del Cretáceo Superior fue demasiado angosto en su parte media para que se formara la facies fosfórica.

El trabajo de campo al norte indicó que el miogeosinclinal se ensanchaba. La facies arenosa lejos del borde contiene capas de fosforita arenosa cerca de Tunja, y se presenta también en la facies caliza-chert-arcilla negra de San Vicente a Suratá, y lo mismo hacia el norte. Las capas de fosforita en la facies arenosa

son más gruesas y de mayor contenido de P_2O_5 de sur a norte. Así, las capas cerca de Soatá (loc. 114, fig. 9) tienen solamente cerca de 0.2 m de espesor, mientras que cerca de San Vicente (loc. 67-68, fig. 9) hay varias capas de fosfato, cada una hasta de 1 m de espesor y contienen nódulos de fosfato en mayor cantidad que las capas de Soatá.

Aún más hacia el norte, en Norte de Santander, las capas son más gruesas y con más alto contenido de fosfato. En Sardinata (loc. 84-90, fig. 9) una sola capa de fosforita tiene hasta 2 m de espesor y contiene solamente granos de apatita, muy poco cuarzo cementado por arcilla y apatita.

La parte occidental de la facies arenosa podría haberse incluido en la subfacies de fosforita de la facies arenosa, como sucedió en el caso de subfacies de fosforita de la facies de chert-caliza-arcilla negra. Existe suficiente información para definir una subfacies de fosforita, pero no como para incluirla en un mapa. A medida que progresen las investigaciones geológicas, se debe tratar de localizar esta subfacies de fosforita en la facies arenosa.

Al norte de Sardinata, cerca de la población de Orú (loc. 76-79, fig. 9) las capas se presentan en el Cretáceo Superior, pero son más delgadas y la facies no es la misma que en Sardinata. Las capas de fosforita son calcáreas y están asociadas con caliza delgada, arcilla calcárea y algo de chert. La facies aquí puede representar deposición en aguas más profundas hacia lo que Bürgl llama la facies marina epicontinental. El Cretáceo Superior en la península de la Guajira (loc. 53, fig. 5) es muy delgada y está formada por arcilla gris calcárea en capas delgadas, caliza, chert en cantidades muy pequeñas y una capa muy delgada que contiene algunos granos de fosfato.

El mapa paleogeográfico del Cretáceo Superior con la facies del miogeosinclinal (Fig. 4) confirma la teoría de que la fosforita fue depositada en las partes más profundas del miogeosinclinal, lejos de la abundante sedimentación clástica, probablemente por agua marina ascendente. El mapa es muy generalizado, principalmente debido a la falta de mapeo geológico detallado. Los excelentes mapas paleogeográficos de la formación pérmica Phosphoria (Sheldon, 1964b) son el resultado de muchos años-hombre de mapeo e interpretación geológica detallada. Un trabajo similar detallado en Colombia podría llevar al descubrimiento de más fosforita. Ciertamente, el área desde Caparrapí hacia el norte hasta San Vicente y Sardinata, y al oeste hacia el río Magdalena, que no ha sido mapeada y ni siquiera observada en forma de reconocimiento, podría contener más depósitos de fosfato.

El miogeosinclinal también se amplía hacia el sur, pero la mayor parte del área está cubierta con sedimentos de edad Terciaria, y muy poco se conoce de la facies o de su distribución. Es posible que más fosfato esté aún por descubrir en esta área.

El mapa paleogeográfico y de litofacies (Fig. 4), basado sobre los datos disponibles, es solamente una cruda aproximación, y deberá ser refinado y modificado a medida que se haga trabajo de campo detallado, de modo que otros depósitos de fosfato en áreas inexploradas, o depósitos potenciales en áreas cubiertas por rocas de edad Terciaria, puedan ser delineados y examinados.

MÉTODOS DE INVESTIGACION EN EL CAMPO

La posición tectónica y el horizonte estratigráfico en el cual puede encontrarse un horizonte de fosforita fueron determinados como se explicó anteriormente. Los procedimientos en el campo después de estas determinaciones consistieron básicamente en examinar todos los cortes de carreteras y caminos donde pudieran aflorar los horizontes fosfóricos. Como las fosforitas depositadas de aguas ascendentes pueden tener distribución geográfica amplia, el examen de todos los cortes sería suficiente para determinar la presencia de la unidad estratigráfica, y se debe destacar que esta investigación preliminar fue hecha así. Después de haber descubierto la fosforita, es necesario el mapeo detallado, seguido por excavación de trincheras y por perforaciones para determinar el tenor, composición mineralógica, tonelaje y sus posibilidades económicas en cuanto se refiere a minería y beneficiación.

Siendo que la fosforita aparece como cualquier roca ordinaria, es muy fácil que su identificación se escape al geólogo de campo. La asociación común de chert y arcilla negra con fosforita es útil en la búsqueda del mineral. El scintilómetro es bastante útil en la exploración de fosfatos. Las fosforitas marinas contienen pequeñas cantidades de uranio y sus afloramientos frecuentemente demuestran anomalías apreciables. Se deben hacer travesías con scintilómetro en las áreas de interés, y toda área que manifieste alguna anomalía debe ser estudiada cuidadosamente.

En el campo se puede hacer un estudio semicuantitativo del contenido de P_2O_5 usando el método de Shapiro (1952). Sin embargo, esta prueba debe hacerse con cautela, ya que el extremadamente pequeño volumen empleado hace difícil obtener una muestra representativa de la capa fosfática. Se deben enviar muestras más representativas al laboratorio químico para su análisis.

REGISTROS DE RAYOS GAMMA

Se examinaron más de 100 registros de rayos gamma de pozos de petróleo. Los registros comprenden mucho del Terciario y una parte de la sección cretácea. Las formaciones terciarias que fueron registradas con los rayos gamma son no-marinas; la sección terciaria marina en la parte septentrional de Colombia ha sido penetrada por pozos de petróleo, pero no se pudieron localizar registros de rayos gamma de estos pozos. Las rocas terciarias registradas (Cuadro 2) no mostraron ninguna radioactividad anómala. Picos anómalos de radiación fueron encontrados solamente en las formaciones Guadalupe, Villeta y La Luna, de edades cretácea media y superior. Los picos altos de la formación Villeta se deben probablemente a las arcillas negras carbonáceas, como lo indicó el examen de los afloramientos superficiales de esta formación. Los picos en los chert inferiores de la formación Guadalupe y de la formación La Luna pueden atribuirse a capas delgadas de material fosfático.

La tabla de correlación (Cuadro 2) se ha intentado solamente para mostrar las relaciones entre las formaciones. Las edades geológicas en la tabla fueron determinadas por las compañías petroleras que perforaron los pozos. Casi todas las formaciones indicadas en la tabla fueron registradas con la unidad de rayos gamma. Solamente aquellas marcadas con un asterisco muestran radiación anómala.

GEOLOGIA ECONOMICA

YACIMIENTOS MARINOS DE FOSFATO

Todos los yacimientos de fosfato conocidos están en rocas de edad cretácea, y la única fosforita que tiene potencial económico está en las formaciones La Luna y Guadalupe de edad Cretáceo Superior. La investigación actual de fosfato en Colombia fue restringida en gran parte a las áreas de afloramiento de estas formaciones; sin embargo, el resto del Cretáceo y el Terciario se recorrieron con el objeto de llevar a cabo su reconocimiento. (Fig. 5).

Todos los datos analíticos y de muestreo en la literatura de las muestras tomadas en la presente investigación están resumidos en el Cuadro 3.

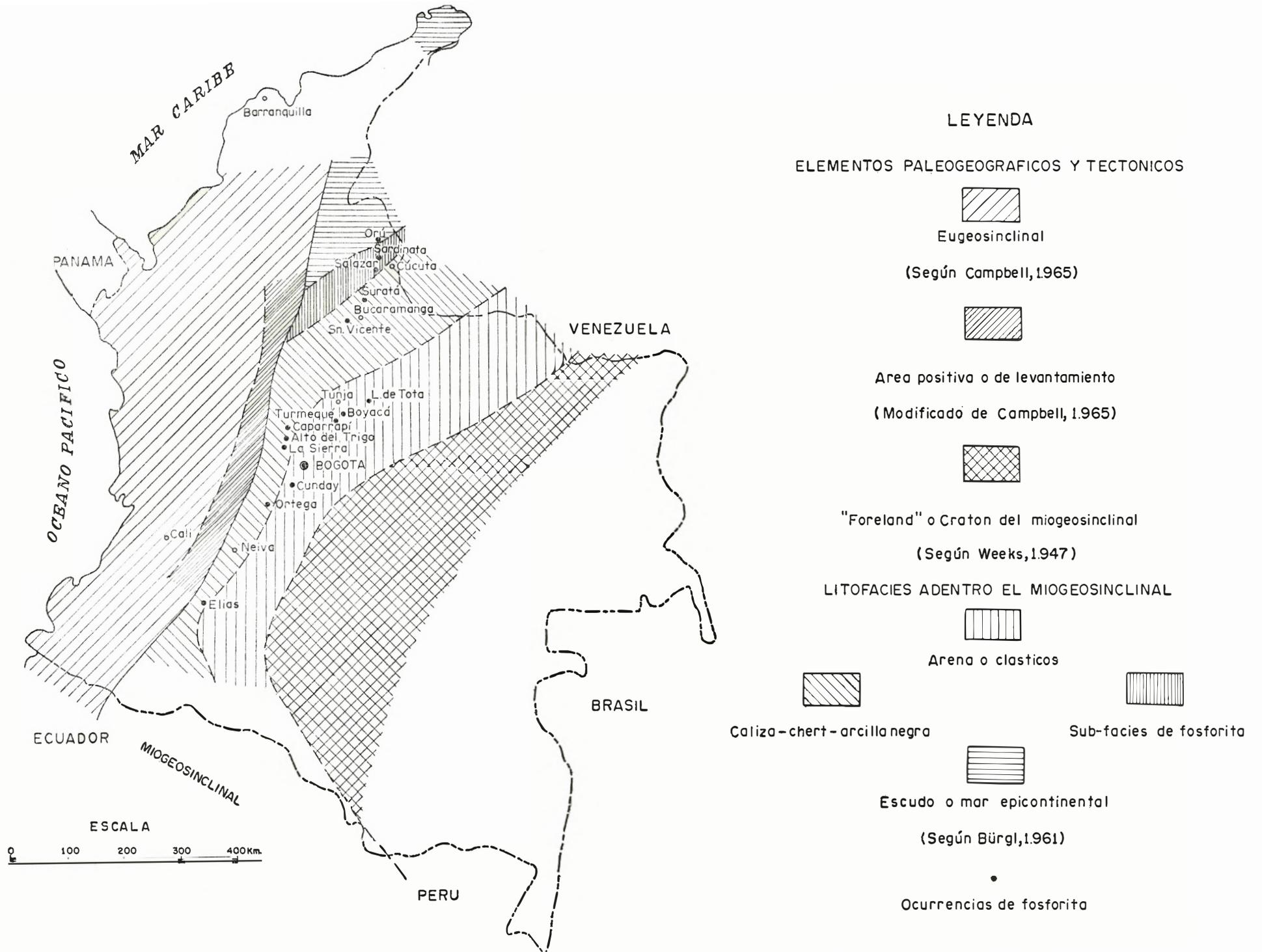


FIGURA 4 MAPA PALEOGEOGRAFICO AL FINALIZAR EL CRETACICO QUE MUESTRA LA RELACION DE LA PRESENCIA DE FOSFATO A LA FACIES EN EL MIOGEO SINCLINAL.

		Area 1	Area 2	Area 3	Area 4	Area 4a	Area 5	Area 6	Area 7
Pleistoceno					Diamante	Diamante-Zorro	Aluvión		Formación Ranchero (posición desconocida) sobre Formación Carmen y en la superficie.
Plioceno		Formación Orito y Formación Belén en la superficie.	Formación Ortega en la superficie	Formación Guavio (posición no conocida) en la superficie.	Zorro	(Sin diferenciar)	Grupo Real	Cuesta	
Mioceno										Silencio
Oligoceno		Belén Orito Orteguaza					Tuné	Tuné	Grupo Chispas	Difícil Sta Inés
Eoceno		Pepino		La Paloma Mirador		Cáceres	Grupo Chorro	Colorado Mugrosa Esmeralda La Paz	Carmen
Paleoceno									San Jacinto Chengue
Cretáceo	Superior	Daniano ?	Rumiyaco	Ortega	Ciego	Guaduas		Lisama	Perforaciones penetran en la Formación Chengue.
		Maestrichtiano	----- ? -----					Umir	
		Companiano		Guadalupe	Guadalupe *				
	Santoniano		Chert superior	Chert superior *	Perforaciones penetran en Formación Guaduas a basamento.			La Luna *	
		Coniaciano Turoniano		Chert inferior *	Gachetá				
	Medio	Cenomaniaco			----- ? -----			Cretáceo sin diferenciar. El espesor reducido probablemente representa parte de este intervalo.	
		Albiano Aptiano	Villeta *		Perforaciones penetran en Formaciones Guadalupe o Gachetá.				
	Inferior	Borremanio	Caballos	Caballos				Tambor	
		Hauteriviense							
		Valanginiano							
Jura-Triásico		Motema	Motema			Girón	Girón		

* Anomalías radiactivas en los registros rayos gamma.

Basamento Igneo

CUADRO 2- CORRELACION DE LOS REGISTROS RAYOS GAMMA
(Localización de las areas mostradas en la fig. 1)

C U A D R O 3 — (Continuación).

Número de localidad	Muestras	Número I M N	Formación	Litología	P ₂ O ₅ (en %)	Espesor (metros)	Referencia
11 (Fig. 5)	Slansky	....	Cretáceo Sup., Campaniano	chert, roca fosfática	25.0	N.D.	Slansky, 1963
AREA DE ORTEGA-GIRARDOT (Figuras 5 y 6), EN EL TEXTO PAGINAS...							
12 (Fig. 5, 6)	Bürgl y Botero	....	Cretáceo Sup., Campaniano	chert, arena fosfática	10 muestras 0.1 - 17.59	N.D.	Bürgl y Botero, 1962
12 (Fig. 5) : 7 (Fig. 6)	Bürgl y Botero	....	Cretáceo Inf., Albiano	caliza, arcilla negra	6.0	N.D.	Zambrano (sin publicar)
13 (Fig. 5, 6)	Bürgl y Botero	....	Cretáceo Sup., Santoniano	chert, arcilla, fosfato	26 muestras 0.1 - 23.48	N.D.	Bürgl y Botero, 1962
			Cretáceo Sup., Turoniano	caliza	12.52	3.0	
14 (Fig. 5, 6)	FZ, Bürgl y Botero	....	Cretáceo Sup., Campaniano	chert, roca fosfática, arcilla	44 muestras 0.6 - 26.0	max.: 1.0	idem
15 (Fig. 5, 6)	FZ, Bürgl y Botero	....	Cretáceo Sup., Campaniano	chert, roca fosfática, arcilla	20 muestras 0.4 - 21.72	max.: 0.6	idem
AREA PANDI-CUNDAY (Figuras 5 y 6), EN EL TEXTO PAGINAS ...							
16 (Fig. 5, 6)	FZ - 808	15794	Guadalupe, Cretáceo Sup.	arena con poco fosfato	0.19	1.50	colectados
	809 A	15795	Guadalupe, Cretáceo Sup.	arcilla	5.34	2.00	por
	809 B	15796	Guadalupe, Cretáceo Sup.	limolita	0.22	1.20	Zambrano
	809 C	15797	Guadalupe, Cretáceo Sup.	arcilla	6.21	1.20	y Cathcart
	8090 = JBC - 17	15798	Guadalupe, Cretáceo Sup.	arena fosfática	20.84	1.00	
	FZ - 811 A	15799	Guadalupe, Cretáceo Sup.	arena	7.42	.35	idem
	B	15800	Guadalupe, Cretáceo Sup.	arena	16.34	.40	
	C	15801	Guadalupe, Cretáceo Sup.	arena	11.40	.45	
	D	15802	Guadalupe, Cretáceo Sup.	arena	12.26	.35	
	FZ - 812 A	15803	Guadalupe, Cretáceo Sup.	arena	2.69	.20	idem
	B	15804	Guadalupe, Cretáceo Sup.	arena	20.26	.25	

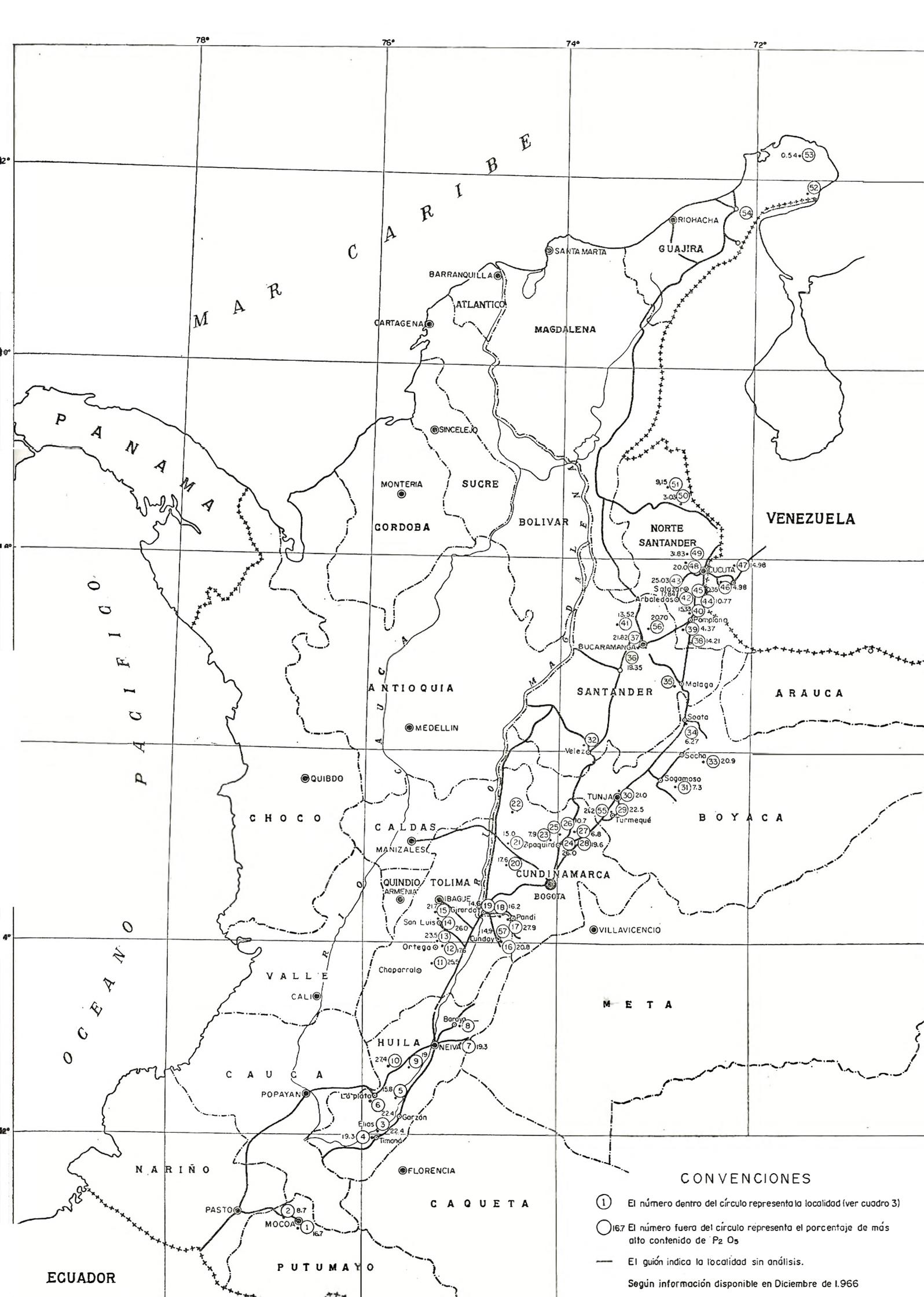
(Continuará)

C U A D R O 3 DATOS ANALITICOS DE LAS MUESTRAS DE ROCAS FOSFATICAS EN COLOMBIA

(Análisis hechos por el Laboratorio Químico Nacional. Ministerio de Minas y Petróleos).

El guión (-) indica muestra sin análisis. ND = no determinado.

Número de localidad	Muestras	Número I M N	Formación	Litología	P ₂ O ₅ (en %)	Espesor (metros)	Referencia
PARTE SUR DEL PAIS (FIGURA 5) EN EL TEXTO PAGINA ...							
1 (Fig. 5)	FZ - 479	....	Cretáceo Superior	chert, arena fosfática	16.76	0.20	Zambrano, 1966
2 (Fig. 6)	HB - 4081 A	....	Cretáceo Superior	chert, arena fosfática, arcilla	7.0	.33	idem
	HB - 4081	....	Cretáceo Superior	chert, arena fosfática, arcilla	9.7	.40	
3 (Fig. 5)	FZ - 315 H	....	Cretáceo Superior	chert, arena fosfática, arcilla	8.88	.10	idem
	E	....	Coniaciano a Campaniano	chert, arena fosfática, arcilla	22.36	.38	
	D	....	Coniaciano a Campaniano	chert, arena fosfática, arcilla	19.24	.48	
	C	....	Coniaciano a Campaniano	chert, arena fosfática, arcilla	18.77	.80	
4 (Fig. 5)	FZ - 517	....	Cretáceo Superior	chert, arena fosfática, arcilla	16.18	.60	idem
	519	....	Cretáceo Superior	chert, arena fosfática, arcilla	12.66	.13	
	521	....	Cretáceo Superior	chert, arena fosfática, arcilla	19.31	.66	
	522	....	Cretáceo Superior	chert, arena fosfática, arcilla	17.88	.12	
5 (Fig. 5)	FZ - 303	....	Cretáceo Superior	arena fosfática y chert	15.76	.20	idem
6 (Fig. 5)	FZ - 348 A	....	Cretáceo Superior	arena fosfática, arcilla y chert	14.48	.20	idem
	B	....	Cretáceo Superior	arena fosfática, arcilla y chert	14.37	.25	
	C	....	Cretáceo Superior	arena fosfática, arcilla y chert	24.33	.60	
7 (Fig. 5)	FZ - 637	....	Cretáceo Superior	arena, shale, marga	12.57	.20	idem
	638 A	....	Cretáceo Superior	arena, shale, marga	7.41	.20	
	B	....	Cretáceo Superior	arena, shale, marga	19.35	.20	
8 (Fig. 5)	Sin muestra	....	Cretáceo Superior	semejante a la localidad 7	.....	N.D.	idem
9 (Fig. 5)	Slansky	....	Cretáceo Superior	arcilla, chert, roca fosfática	19.0	N.D.	Slansky, 1963
10 (Fig. 5)	Slansky	....	Cretáceo Superior	arcilla, chert, roca fosfática	27.4	* 1.0	idem (Continuará)



CONVENCIONES

- ① El número dentro del círculo representa la localidad (ver cuadro 3)
 - 167 El número fuera del círculo representa el porcentaje de más alto contenido de P₂O₅
 - El guión indica la localidad sin análisis.
- Según información disponible en Diciembre de 1.966

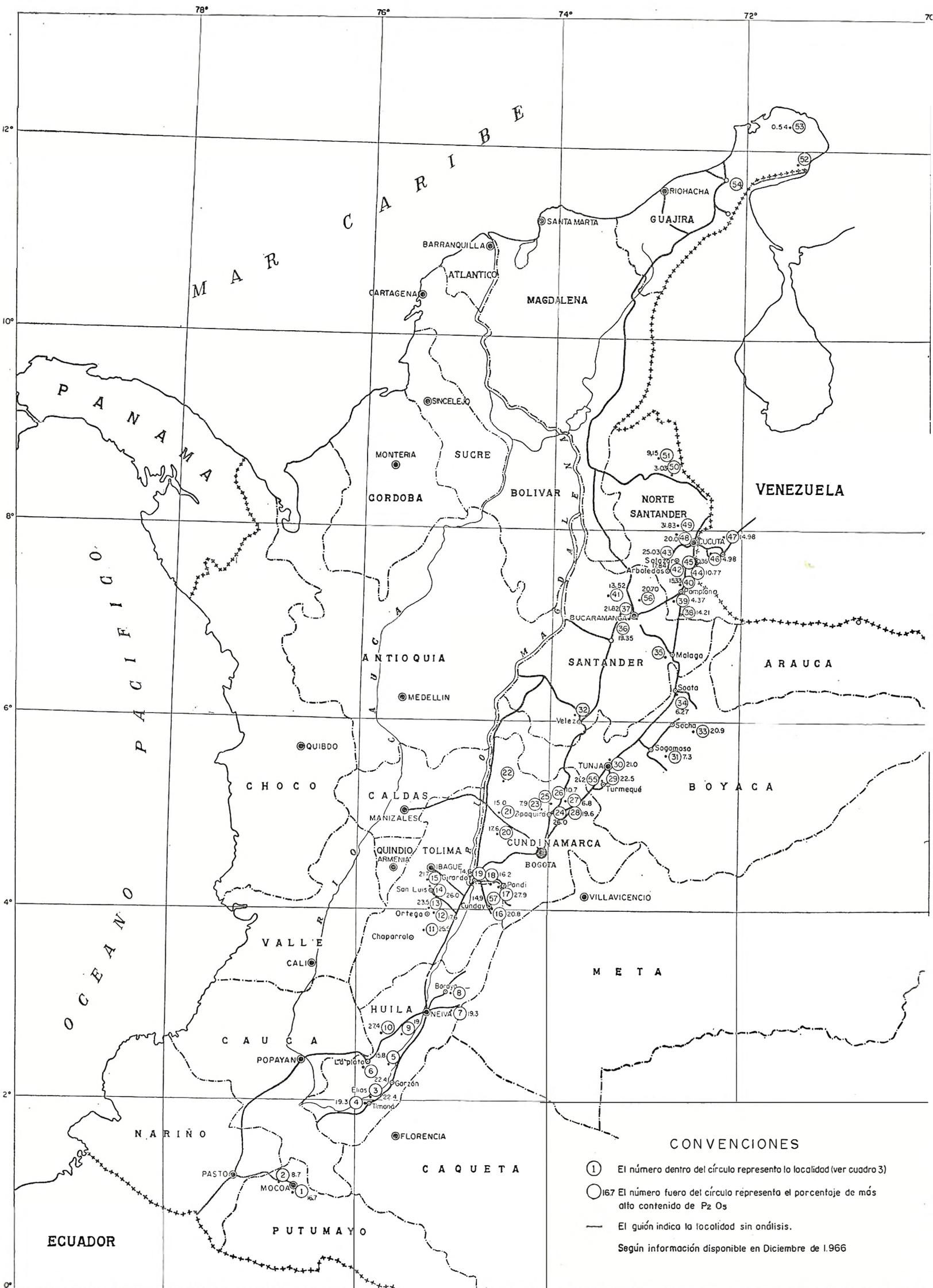


Fig. 5: LOCALIZACION DE LOS AFLORAMIENTOS DE FOSFATO

ESCALA GRAFICA

0 25 50 75 100 125 150

C U A D R O 3 — (Continuación).

Número de localidad	Muestras	Número I M N	Formación	Litología	P ₂ O ₅ (en %)	Espesor (metros)	Referencia
16 (Fig. 5, 6)	FZ - 813 A	15805	Guadalupe, Cretáceo Sup.	arcilla	1.11	1.20	colectados por Zambrano y Cathcart
	B	15806	Guadalupe, Cretáceo Sup.	arcilla	1.00	3.70	
	C	15807	Guadalupe, Cretáceo Sup.	arcilla	8.37	.10	
	D	15808	Guadalupe, Cretáceo Sup.	fosforita	14.9	.20	
	E	15809	Guadalupe, Cretáceo Sup.	arenisca	12.2	1.00	
17 (Fig. 5, 6)	FZ	Guadalupe, Cretáceo Sup.	arena fosfática	27.96	.27	idem
	FZ	.....	Guadalupe, Cretáceo Sup.	arena fosfática	27.54	.18
	JBC 1 A	15703	Guadalupe, Cretáceo Sup.	arena fosfática	.....	.27
	1 B	.....	Guadalupe, Cretáceo Sup.	arena fosfática	.....	.10
	1 C	15704	Guadalupe, Cretáceo Sup.	arena fosfática meteorizada	.....	.50
18 (Fig. 5, 6)	FZ - 724 A	15351	Guadalupe, Cretáceo Sup.	arcilla gris	1.56	1.00	muestras colectadas por Zambrano, 1965
	B	15352	Guadalupe, Cretáceo Sup.	chert	1.04	.40	
	C	15353	Guadalupe, Cretáceo Sup.	chert	1.21	.60	
	D	15354	Guadalupe, Cretáceo Sup.	arenisca fosfática	11.13	1.30	
	E	15355	Guadalupe, Cretáceo Sup.	arenisca arcillosa	6.45	.33	
	F	15356	Guadalupe, Cretáceo Sup.	arenisca fosfática	15.20	.50	
	G	15357	Guadalupe, Cretáceo Sup.	arenisca arcillosa	2.20	.60	
	H	15358	Guadalupe, Cretáceo Sup.	arenisca fosfática	8.58	.25	
	I	15359	Guadalupe, Cretáceo Sup.	arenisca fosfática	9.33	.33	
	J	15360	Guadalupe, Cretáceo Sup.	arenisca fosfática	16.16	.25	
19 (Fig. 5, 6)	Bürgl y Botero	Campaniano (Chert Sup.)	caliza fosfática, chert	24 muestras 0.18 - 7.03	N. D.	Bürgl y Botero, 1962
	idem		Santoniano (Chert Inf.)	caliza fosfática, chert	16 muestras 0.06 - 14.64	N. D.	idem
	idem		Coniaciano	N. D.	9 muestras 0.04 - 1.20	N. D.	idem
	idem		Turoniano - La Frontera	caliza	5 muestras 0.07 - 0.28	N. D.	idem

(Continuará)

C U A D R O 3 -- (Continuación).

Número de localidad	Muestras	Número I M N	Formación	Litología	P ₂ O ₅ (en %)	Espesor (metros)	Referencia
20 (Fig. 5)	JBC 14 (Fig. 7)	.....	La Luna, Galembo	chert negro	.....	N. D.	colectadas por Cathcart y Zambrano, 1966
	15 (Fig. 7)	15716	La Luna, Galembo	caliza fosfática gris	2.84	0.3	
	16 (Fig. 7)	15717	La Luna, Galembo	fosforita calcítica	17.65	0.3	
	17 (Fig. 7)	15718	La Luna, Galembo	arena arcillosa meteorizada	.39	N. D.	
21 (Fig. 5)	JBC 12 (Fig. 7)	.....	La Luna, Galembo	caliza, arcilla negra, chert	Varias muestras	0.08 - 1.30	Sección, P. Mojica
	JBC 13 (Fig. 7)	15712	Formación Umir	arcilla negra	< 5.0 - 14.98	N. D.	Texto, p. . . . colectada por Cathcart
AREA DE ALTO DEL TRIGO (Figuras 5 y 6).							
Perforaciones en la Quebrada Santa Ibáñez	Pozo Nº 1						
	30 - 73	15719	Cimarrona	arcilla negra	0.08	Los espesores de las muestras se dan a partir de la boca del pozo	Corazones muestreados por Cathcart y Zambrano
	73 - 82	15720	Umir	conglomerado	0.12		
	82 - 129	15721	Umir	arcilla negra	0.76		
	89 - 89'8"	15722	Umir	conglomerado	0.47		
129 - 312	15723	Umir	arcilla negra	1.86			
	Pozo Nº 2						idem
	20' = 151	15724	Umir	arcilla negra	0.88		
	151' = 313'6"	15725	Umir	arcilla negra	0.28		
	Pozo Nº 3						idem
	10 - 141	15726	La Luna (?)	arcilla negra calcárea	0.18		
	141 - 259	15727	La Luna	arcilla negra calcárea	0.47		
	259 - 281'6"	15728	La Luna	arcilla negra calcárea	0.19		
	Pozo Nº 4						idem
	24 - 43'4"	15729	La Luna	arcilla negra calcárea	0.34		
	43'4" - 48'4"	15730	La Luna	con alternaciones de lechos más o menos fosfáticos	2.89		
	48'4" - 74'	15731	La Luna		0.25		
	74' - 79'6"	15732	La Luna		1.26		
	79'6" - 81'6"	15733	La Luna		0.63		
	81'6" - 82	15734	La Luna		1.82		

(Continuará)

C U A D R O 3 — (Continuación).

Número de localidad	Muestras	Número I M N	Formación	Litología	P ₂ O ₅ (en %)	Espesor (metros)	Referencia	
21 (Fig 5) Perforaciones en la Quebrada Santa Ibáñez	Pozo N° 4 82 - 92'6" 92'6" - 95'6" 95'6" - 162	15735	La Luna	arcilla negra calcárea	0.60	Los espesores de las muestras se dan a partir de la boca del pozo	Corazones muestrados por Cathcart y Zambrano	
		15736	La Luna	con alternaciones de lechos	0.88			
		15737	La Luna	más o menos fosfáticos	0.59			
	idem	Pozo N° 5 8 - 87 87 - 88'6" 88'6" - 116 116 - 130 130 - 134 134 - 136'6" 136'6" - 147 147 - 283	15738	La Luna	arcilla negra	0.46	idem	idem
			15739	La Luna	chert	.23		
			15740	La Luna	arcilla negra	.49		
			15741	La Luna	arcilla silícea	.56		
			15742	La Luna	arcilla negra	.80		
			15743	La Luna	arcilla fosfática	2.72		
			15744	La Luna	arcilla negra	2.03		
15745			La Luna	chert	1.15			
idem	Pozo N° 6 2 - 104 104 - 106 106 - 116 116 - 145 145 - 150 150 - 156 156 - 157'3" 157'3" - 161'6" 161'6" - 164'3" 164'3" - 200	15746	La Luna	arcilla negra silícea y chert	1.03	idem	idem	
		15747	La Luna	con alternación de lechos más	3.27			
		15748	La Luna	o menos fosfáticos	2.32			
		15749	La Luna		1.02			
		15750	La Luna		3.60			
		15751	La Luna		4.11			
		15752	La Luna		5.02			
		15753	La Luna		0.62			
		15754	La Luna		2.85			
		15755	La Luna		1.09			
OTRAS AREAS DE LA CORDILLERA ORIENTAL								
18 (Fig. 7)	JBC - 18	La Luna (?)	Shale negro	Muestras de shales de espesores no determinados	Colectadas por Cathcart y Zambrano	
19	19	15756	Turoniano La Frontera	Shale negro	0.25			
20	20	15757	Villeta	Shale negro	....		
21	21	15758	Villeta, Albiano	Shale negro	0.19			
22	22	15759	Villeta, Barremiano	Shale negro				

(Continuará)

C U A D R O 3 — (Continuación).

Número de localidad	Muestras	Número I M N	Formación	Litología	P ₂ O ₅ (en %)	Espesor (metros)	Referencia
23 (Fig. 7)	JBC - 23	15760	Villeta, Barremiano	Shale negro	0.16	Muestras de	Colectadas
24	24	15761	Villeta, Barremiano	Shale negro	0.22	shales de	por Cathcart
29	29	15767	Villeta, Barremiano	Shale negro	0.10	espesores no	y Zambrano
30	30	15768	Villeta, Barremiano	Shale negro	0.06	determinados	
22 (Fig. 5)	JBC - 31 A	15769	La Luna	arena fosfática	4.24 (?)	0.30	idem
	B	15770	La Luna	caliza fosfática	1.62 (?)	0.35	
	C	15771	La Luna	arena fosfática	3.86 (?)	1.00	
	D	15772	La Luna	arena fosfática meteorizada	4.51 (?)	0.50	
	JBC - 32	15773	La Luna	caliza fosfática	0.58 (?)	N. D.	
23 (Fig. 5, 8)	FZ - 601 - 1	15260	Guadalupe	arena fosfática y chert	3.19	0.25	Zambrano
	- 2	15261	Guadalupe	arena fosfática y chert	1.43	0.20	(sin publicar),
	- 3	15262	Guadalupe	arena fosfática y chert	6.99	0.25	muestras tomadas
	- 4	15263	Guadalupe	arena fosfática y chert	5.84	0.15	en 1965
	- 5	15264	Guadalupe	arena fosfática y chert	2.21	0.35	
	- 6	15265	Guadalupe	arena fosfática y chert	3.94	0.45	
	- 7	15266	Guadalupe	arena fosfática y chert	7.91	0.70	
	- 8	15267	Guadalupe	arena fosfática y chert	6.53	0.20	
24 (Fig. 5, 8)	LC - 32	15634	Guadalupe	arena fosfática y chert	26.0	N. D.	D. H. Mc-Laughlin (sin publicar)
25 (Fig. 5, 8)	JBC - 10 A	15835	Guadalupe	shale y arena fosfática	10.00	0.3	Cathcart y Zambrano,
	B	....	Guadalupe	shale y arena fosfática	....	0.2	muestras colectadas
	C	....	Guadalupe	shale y arena fosfática	....	0.2	en 1966
	11	....	Villeta (?)	shale negro y arena	....	N. D.	
26 (Fig. 5, 8)	PM - U - 65	....	Chipaque (?)	caliza fosfática	15.3	rodado	Mojica (sin publicar)
27 (Fig. 5, 8)	PM - 150	15362	Guadalupe Superior Arenisca Superior	arena fosfática y limo	6.8	2.00	Mojica (sin publicar)

(Continuará)

C U A D R O 3 — (Continuación).

Número de localidad	Muestras	Número I M N	Formación	Litología	P ₂ O ₅ (en %)	Espesor (metros)	Referencia
28 (Fig. 5, 8)	JBC - 34	15776	Guadalupe	chert y arena fosfática	7.25	0.3	Muestras colectadas por Cathcart y Zambrano, 1966
	35	15777	Guadalupe	arena fosfática, chert silíceo	14.20	0.5	
	36	15778	Guadalupe	arenisca con poco fosfato	1.56	0.3	
28A (Fig. 5, 8)	JBC - 37	15779	Guadalupe	arena fosfática	19.62	0.4	idem
	38	15780	Guadalupe	arena fosfática meteorizada	1.60	0.2	
	39	15781	Guadalupe	arcilla gris	1.06	N. D.	
29 (Fig. 5, 8)	JBC - 41 A	15783	Guadalupe	arena fosfática	17.94	0.35	idem
	B	15784	Guadalupe	arena fosfática	22.55	0.25	
	42 A	15785	Guadalupe	arena fosfática	17.74	0.20	
	B	15786	Guadalupe	arena fosfática	16.20	0.20	
	C	15787	Guadalupe	arena fosfática	22.10	1.00	
D	15788	Guadalupe	arena fosfática	5.66	1.00		
30 (Fig. 5, 8)	JBC - 43	15789	Guadalupe	chert y arena fosfática	21.05	0.25	idem
31 (Fig. 5)	JBC - 45 A	15791	Guadalupe	arenisca fosfática	6.60	0.3 ±	idem
	B	15792	Guadalupe	arena fosfática meteorizada	0.76	0.3	
	C	15793	Guadalupe	arena fosfática y chert	7.28	0.3	
32 (Fig. 5)	JEC - 44	15790	Villeta	arcilla negra	0.16	N. D.	Cathcart y Zambrano, muestra colectada, 1966
33 (Fig. 5, 9)	HB - 3375	Guadalupe - Santoniano	arena fosfática y chert	23 muestras 0-20.93	N. D.	Bürgl y Botero, 1962
34 (Fig. 5)	JBC - 114	10821	La Luna-Miembro Galemo	caliza fosfática y chert	6.72	0.1	Colectada por Cathcart y Zambrano, 1966
35 (Fig. 5, 9)	JBC - 115	10822	La Luna	caliza fosfática y limo	15.38	0.10	idem
	116	10823	La Luna	shale fosfático ("bonebed")	15.00	0.20	

(Continuará)

C U A D R O 3 -- (Continuación).

Número de localidad	Muestras	Número I M N	Formación	Litología	P ₂ O ₅ (en %)	Espesor (metros)	Referencia
36 (Fig. 5, 9)	JBC - 56	10394	La Luna, Miembro Pujamana	arcilla negra	0.55	N. D.	Colectadas por Cathcart y Zambrano, 1966
	57	10395	La Luna, Miembro Pujamana	arenisca calcárea fosfática	2.24	0.50	
	58	10396	La Luna, Miembro Pujamana	arenisca calcárea fosfática	0.54	0.25	
	59	10397	La Luna, Miembro Pujamana	arenisca calcárea fosfática	0.54	0.50	
	60	10398	La Luna, Miembro Galembo	caliza con algo de fosfato	0.47	0.50	
	61	10399	La Luna, Miembro Galembo	arcilla fosfática	0.98	0.75	
	62	10400	La Luna, Miembro Galembo	caliza fosfática	1.02	0.30	
	63	10401	La Luna, Miembro Galembo	arcilla fosfática ("bonebed")	2.56	0.30	
	64	10402	La Luna, Miembro Galembo	arcilla fosfática ("bonebed")	19.35	0.45	
	65	10403	La Luna, Miembro Galembo	arcilla fosfática (compuesta)	17.42	N. D.	
	66	10404	La Luna, Miembro Galembo	arcilla fosfática ("bonebed")	5.10	0.20	
37 (Fig. 5, 9)	JBC - 52	10390	La Luna, Miembro Galembo	arcilla calcárea con poco fosfato	0.31	N. D.	idem
	53	10391	La Luna, Miembro Galembo	caliza arcillosa	0.77	N. D.	
	54	10392	La Luna, Miembro Galembo	arcilla fosfática calcárea	0.46	N. D.	
	55	10393	La Luna, Miembro Galembo	caliza arcillosa	0.23	N. D.	
	67	10405	La Luna, Miembro Galembo	arcilla fosfática ("bonebed")	12.16	1.80	
	68	10406	La Luna, Miembro Galembo	arena fosfática meteorizada	21.82	0.30	
38 (Fig. 5, 9)	JBC - 113	10820	La Luna, Miembro Galembo	arcilla fosfática ("bonebed")	0.30	idem
39 (Fig. 5, 9)	JBC - 107	10814	La Luna, Miembro Galembo	arcilla fosfática ("bonebed")	14.10	0.30	idem
	108	10815	La Luna, Miembro Galembo	caliza fosfática	12.32	0.20	
	109	10816	La Luna, Miembro Galembo	arenisca arcósica	19.78	0.08	

(Continuará)

C U A D R O 3 — (Continuación).

Número de localidad	Muestras	Número I M N	Formación	Litología	P ₂ O ₅ (en %)	Espesor (metros)	Referencia
40 (Fig. 5, 9)	JBC - 105	10812	La Luna, Miembro Galembo	arenisca fosfática (rodado)	6.81	N. D.	Muestras colectadas por Cathcart y Zambrano
	106	10813	La Luna, Miembro Galembo	arcilla fosfática ("bonebed")	15.33	0.40	
41 (Fig. 5, 9)	JBC - 69	10776	La Luna, Miembro Galembo	arcilla fosfática	0.70	0.30	idem
	70	10777	La Luna, Miembro Galembo	arcilla fosfática ("bonebed")	13.52	0.30	
	71	10778	La Luna, Miembro Galembo	caliza negra	0.23	N. D.	
42 (Fig. 5, 9)	JBC - 97	10804	La Luna, Miembro Galembo	arcilla negra	0.35	N. D.	idem
	98	10805	La Luna, Miembro Galembo	caliza fosfática (rodado)	...	N. D.	
	99	10806	La Luna, Miembro Galembo	arcilla fosfática	5.98	0.20	
	100	10807	La Luna, Miembro Galembo	arcilla fosfática ("bonebed")	13.10	N. D.	
	101	10808	La Luna, Miembro Galembo	arcilla fosfática ("bonebed") rodado	17.84	N. D.	
43 (Fig. 5, 9)	JBC - 102	10809	La Luna, Miembro Galembo	arena fosfática	25.03	1.0	idem
44 (Fig. 5, 9)	104	10811	La Luna, Miembro Galembo	arcilla fosfática (rodado)	10.77	N. D.	idem
45 (Fig. 5, 9)	103	10810	La Luna, Miembro Galembo	arcilla fosfática (rodado)	0.35	N. D.	idem
46 (Fig. 5, 9)	73	10780	La Luna, Miembro Galembo	arcilla fosfática ("bonebed")	4.98	0.20	idem
47 (Fig. 5, 9)	72	10779	La Luna, Miembro Galembo	fosforita calcárea	14.98	1.0	idem
48 (Fig. 5, 9)	94	10801	La Luna, Miembro Galembo	arcilla fosfática	20.0	0.10	idem
	95	10802	La Luna, Miembro Galembo	arcilla fosfática calcárea	6.75	N. D.	
	96	10803	La Luna, Miembro Galembo	arcilla fosfática ("bonebed")	18.15	0.20	

(Continuará)

C U A D R O 3 -- (Continuación).

Número de localidad	Muestras	Número I M N	Formación	Litología	P ₂ O ₅ (en %)	Espesor (metros)	Referencia	
49 (Fig. 5, 9)	JBC - 80	10787	La Luna, Miembro Galebo	arcilla arenosa, algo fosfática	1.20	.10	Muestras colectadas por Cathcart y Zambrano, 1966	
		81	10788	La Luna, Miembro Galebo	caliza fosfática	0.31		.20
		82	10789	La Luna, Miembro Galebo	arcilla negra	0.23		N. D.
		83	10790	La Luna, Miembro Galebo	caliza fosfática	4.44		.15
		84	10791	La Luna, Miembro Galebo	arena fosfática	31.83		2.00
		85	10792	La Luna, Miembro Galebo	caliza fosfática	16.53		.16
		86	10793	La Luna, Miembro Galebo	arena fosfática	17.76		1.50
		87	10794	La Luna, Miembro Galebo	arcilla silicea meteorizada	.....		.50
		88	10795	La Luna, Miembro Galebo	arena fosfática	26.22		1.50
		89	10796	La Luna, Miembro Galebo	arena fosfática glauconítica	6.68		0.50
		90	10797	La Luna, Miembro Galebo	caliza glauconítica	5.79		N. D.
		91	10798	La Luna, Miembro Galebo	arena fosfática (rodado)	30.05		N. D.
		92	10799	La Luna, Miembro Galebo	arcilla fosfática ("bonebed" - rodado)	12.28		N. D.
		93	10800	La Luna, Miembro Galebo	arena y shale fosfáticos	1.00		0.30
50 (Fig. 5, 9)	JBC - 74	10781	La Luna, Miembro Galebo	arcilla arenosa fosfática	3.05	0.20	idem	
		75	10782	La Luna, Miembro Galebo	chert negro	0.07		N. D.
51 (Fig. 5, 9)	JBC - 76	10783	La Luna, Miembro Galebo	arcilla meteorizada	1.54	N. D.	idem	
		77	10784	La Luna, Miembro Galebo	arena fosfórica calcárea	3.32		0.30
		78	10785	La Luna, Miembro Galebo	arena fosfórica calcárea	9.15		0.50
		79	19786	La Luna, Miembro Galebo	arena fosfática calcárea	1.62		0.30
52 (Fig. 5, 9)	118	15814	La Luna, Miembro Galebo	caliza fosfática	0.31	0.10	idem	
53 (Fig. 5, 9)	119	15815	Mioceno	caliza arenosa, trazas de fosfato	0.54	N. D.	idem	
54 (Fig. 5, 9)	120	15816	Reciente	guijarro de limonita superficial	.....	N. D.	idem	

(Concluirá)

CUADRO 3 — (Conclusión).

Número de localidad	Muestras	Número I M N	Formación	Litología	P ₂ O ₅ (en %)	Espesor (metros)	Referencia
55 (Fig. 5, 9)	PM - 4 A	15812	Guadalupe	arena fosfática	21.24	1.40	Mojica, 1966
	B	15813	Guadalupe	arena fosfática	18.10	2.20	
56 (Fig. 5, 9)	JBC - 46	10384	caliza de Rosa Blanca	caliza	0.31	N. D.	Muestras colectadas por Cathcart y Zambrano, 1966
	47	10385	arcilla de La Paja	arcilla negra	0.19	N. D.	
	48	10386	La Luna, Miembro Galembo	arcilla fosfática ("bonebed")	20.70	0.80	
	49	10387	La Luna, Miembro Galembo	arcilla fosfática ("bonebed")	6.95	0.20	
	50	10388	La Luna, Miembro Galembo	arcilla fosfática ("bonebed")	7.15	0.50	
	51	10389	La Luna, Miembro Galembo	caliza fosfática	1.81	1.50	
57 (Fig. 5)	PM - 55 F	15817	Guadalupe	arena fosfática	30.74	0.60	Pedro Mojica, datos sin publicar
	E	15818	Guadalupe	arena fosfática	15.30	0.60	
	C (A)	15819	Guadalupe	arena fosfática	15.15	0.60	
	C (B)	15820	Guadalupe	arena fosfática	15.32	1.00	
	G	15821	Guadalupe	arena fosfática	28.73	1.50	
	B	15822	Guadalupe	arena fosfática	27.61	0.50	

EL HUILA Y OTRAS LOCALIDADES EN EL SUR DE COLOMBIA

Las localidades del Huila y otras en la parte meridional del país no fueron visitadas por J. B. Cathcart, pero fueron muestreadas por Zambrano (1966). Las muestras de rocas de edad Cretáceo Superior, tomadas en localidades cerca a las poblaciones de Timaná y Elías, en el Departamento del Huila, contenían entre 9 y 22.4% de P_2O_5 . Cerca de la población de La Plata se muestreó una capa de fosfato con un contenido promedio de 20% P_2O_5 ; además, se encontraron indicaciones de fosfato cerca de Mocoa y San Francisco en el Putumayo (Fig. 5).

Sección en Elías.

Las capas de fosfato en la region de Elías están asociadas con chert, arcilla en menor cantidad, y arenisca de grano medio. Los granos de fosfato tienen forma ovalada o cilíndrica y están cementados por sílica microcristalina. Los minerales accesorios comprenden cuarzo, óxido de hierro, glauconita en pequeñas cantidades y fragmentos angulares de material volcánico discutible. Los fósiles de la sección, identificados por Bürgl, indican una edad Coniaciano-Campaniano. Las capas son casi verticales con rumbo hacia el noreste.

La sección en Elías (loc. 3, fig. 5), fue medida por Zambrano (1966) y es como sigue:

	Espesor (metros)
Cretáceo Superior (Coniaciano - Campaniano).	
1. Arenisca de grano medio	5.00
2. Arcilla silícea (porcelanita)	0.60
3. Fosforita 8.88% P_2O_5	0.10
4. Arcilla amarilla	0.08
5. Chert	1.10
6. Fosforita similar a la de capa 3	0.15
7. Chert	6.60
8. Arenisca	0.52
9. Chert	1.75
10. Arenisca, unos pocos granos de fosfato	0.60
11. Chert	0.15
12. Fosforita 22.36% P_2O_5	0.38
13. Arcilla que contiene pocos granos de fosfato	0.15
14. Chert	0.55
15. Fosforita 19.24% P_2O_5	0.48
16. Arcilla	0.02
17. Fosforita 18.77% P_2O_5	0.80
18. Chert con capas delgadas de arcilla	1.50
19. Arenisca, pocos granos de fosfato	0.14
20. Chert	0.72

21. Fosforita; no se tomó muestra	0.13
22. Chert	0.35
23. Fosforita; no se tomó muestra	0.28
24. Arcilla	0.29
25. Fosforita con restos de peces	0.29
26. Chert	3.00

Base de la sección.

Dos muestras (15 y 17) con contenido 19.2 y 18.8% P_2O_5 se trituraron y se hizo separación con bromoformo. Las fracciones pesadas dieron un contenido de 32.5 y 34.9% P_2O_5 ; las fracciones livianas 9.1 y 8.3% P_2O_5 (Zambrano, 1966); no se dan datos sobre las cantidades de las fracciones pesadas y livianas ni hay indicaciones de las pérdidas por trituración. Hay indicaciones, sin embargo, de que la trituración seguida por flotación daría un concentrado muy bueno y de que el proceso de flotación sería económico siempre que haya suficiente tonelaje de roca fosfática de este tenor. El espesor total de las capas 15 a 17 es de 1.30 metros y la capa 16, que separa las capas de fosforita, es solamente de 0.02 metros de espesor. Debido a que las capas están casi verticales, la minería tendría que hacerse por métodos subterráneos.

Se muestreó una capa de fosforita de 0.30 metros de espesor, con un contenido de 21.2% P_2O_5 y asociada con chert, cerca de 500 metros al norte de la sección mencionada; la capa buza cerca de 30 grados hacia el oeste, y no fue visible más hacia el norte debido a la vegetación a lo largo del río Magdalena.

Sección cerca a Timaná (Quebrada El Tobo).

La sección está cerca de 5 kms al sureste de Timaná. Las capas fosfáticas están asociadas con chert y caliza y difieren de las capas en Elías por su color oscuro. Las capas tienen una dirección noreste y buzan abruptamente hacia el este.

La sección parcial en Quebrada El Tobo (Loc. 4, Fig. 5), medida por Zambrano, es como sigue:

	Espesor (metros)
Cretáceo Superior.	
1. Caliza fosilífera 0.50% P_2O_5	20.00
2. Fosforita arenosa, 16.18% P_2O_5	0.60
3. Arcilla negra	0.12
4. Fosforita 12.56% P_2O_5	0.13
5. Chert negro, con capas delgadas de arcilla negra interestratificada y una capa de fosforita con un espesor de 0.07 metros.	5.78

6.	Fosforita 19.31% P_2O_5	0.65
7.	Arcilla negra	0.17
8.	Fosforita 17.88% P_2O_5	0.12
9.	Chert negro	0.20
10.	Arcilla gris a negra	6.00
11.	Caliza negra	1.30

Base de la sección.

Las secciones en Elías y Timaná son muy similares, diferenciándose por las capas de caliza en el área de Timaná. Las capas 6-8 en la sección de Timaná son muy similares en espesor, contenido de P_2O_5 y en la separación de las dos capas de fosfato por una capa delgada de arcilla, a las capas 15 y 17 de la sección Elías.

Se encontró una capa de fosfato con un espesor de 0.20 metros y un contenido de 15.76% P_2O_5 en rocas de edad Cretáceo Superior a lo largo de la carretera Pital-La Plata (Loc. 5, fig. 5).

A lo largo de la carretera La Plata-Puracé, las capas de fosforita arenosa están asociadas con chert, arcilla y caliza. La capa de fosforita tiene un espesor de 1.05 metros y un contenido de 20.1% P_2O_5 (Loc. 6, fig. 5).

Sobre la carretera entre San Antonio y Vegalarga, 37 kms. de Neiva en la quebrada Fortalecillas, hay tres capas de fosforita que alternan con arcilla (Loc. 7, fig. 5). La sección parcial (Zambrano, 1966) es como sigue:

	Espesor (metros)
Cretáceo Superior.	
Fosforita 19.35% P_2O_5	0.20
Arcilla con intercalaciones de caliza	9.20
Fosforita 7.41% P_2O_5	0.20
Arcilla negra calcárea (o marga arcillosa) con una capa de fosforita de un espesor de 0.20 y un contenido de 12.57% P_2O_5 . . .	50.00
Arcilla negra	100.00

Base de la sección.

Se encontró una capa de 1.2 metros de espesor con un contenido de 4.1% P_2O_5 sobre la carretera que va desde Neiva a San Antonio en el río La Ceiba. La capa es de edad Cretáceo Inferior (Albiano).

Sección cerca de San Francisco, Putumayo.

Sobre la carretera entre Pasto y Mocoa afloran capas de rocas fosfáticas asociadas con chert, arcilla, arenisca y caliza de edad Cretáceo Superior, cerca de 6 kms. al sur de San Francisco. Las capas tienen una dirección casi norte-sur y buzan abruptamente

hacia el oeste (loc. 2, fig. 5). La sección medida por Zambrano (1966) es como sigue:

	Espesor (metros)
Arcilla y chert interestratificado	48.50
Fosforita 8.70% P_2O_5	0.40
Chert negro	3.34
Arcilla negra	0.58
Fosforita 7.00% P_2O_5	0.35
Arenisca	0.32
Arcilla gris	5.00
Arenisca	3.50
Arcilla roja	30.00

Base de la sección.

Un afloramiento de chert, de cerca de 5 metros de espesor, sobre la carretera entre Mocoa y Urcusique (loc. 1, fig. 5), tiene una capa de fosforita de un espesor de 0.20 metros en su parte inferior. La capa de fosforita contiene 16.8% P_2O_5 .

Resumen.

Las capas de fosforita arenosa en esta área están asociadas con chert, arcilla negra, arenisca y caliza en menor cantidad, y están en la facies arenosa, cerca a la plataforma. La edad de la fosforita es Cretáceo Superior (Coniaciano a Campaniano). Generalmente las capas buzan abruptamente y son estructuralmente complejas, y su explotación tendrá que hacerse por métodos subterráneos. Las capas de fosforita arenosa pueden mejorar su tenor por flotación, como lo indica la separación con bromoformo, y convertirse en un producto fosfático de alto tenor, pero deberán probarse grandes tonelajes antes de que se justifique una inversión de capital en plantas de trituración y flotación. El material puede ser molido y usado para aplicación directa, y es posible que la molida seguida de tamizado mejore el producto, por la remoción de los granos más duros de cuarzo. Deberán hacerse algunos ensayos de molienda y flotación con muestras representativas para conocer el porcentaje de recuperación. El tonelaje es completamente desconocido, y deberán hacerse mapas geológicos detallados y perforaciones de las áreas más promisorias (Elías y Timaná) para determinar la extensión, tenor y tonelaje de la fosforita en estas localidades.

AREA GIRARDOT - ORTEGA

Los yacimientos de fosfato en las áreas Girardot-Ortega no fueron vistos por Cathcart, pero el área fue muestreada por Bürgl

y Botero (1962), y por Zambrano, cuyos mapas y secciones se usaron en la compilación de esta sección del informe.

El muestreo inicial hecho por Bürgl y Botero (1962) estableció el hecho de que las capas de fosfato de algún interés económico solamente se encuentran en la parte superior de la formación Guadalupe de edad Cretáceo Superior (Santoniano y Campaniano), aunque se encontró una caliza fosfática en la parte inferior de la formación Guadalupe (Turoniano), que contenía 12.5% P_2O_5 en una capa de 3 metros de espesor.

Bürgl y Botero (1962) muestrearon capas desde el Turoniano hasta el Campaniano inclusive, sobre la carretera entre Girardot y Nariño, y capas del Cretáceo Superior (Maestrichtiano) sobre la carretera al este de Girardot. (Cuadro 3, loc. 19 y 19A, fig. 6). La muestra más alta contenía 14.6% P_2O_5 y era de edad Santoniano. No se dan las descripciones de la roca, pero la capa está posiblemente en la facies chert-caliza-arcilla.

Se tomaron muestras cerca de Ortega, de capas que varían en edad de Turoniano a Maestrichtiano inclusive. Las capas de fosfato del chert superior (Campaniano) contenían hasta 17.50% P_2O_5 . Las capas están en la facies chert-caliza-arcilla.

Zambrano muestreó un flanco de una estructura anticlinal desde Payandé hacia el suroeste. Esta estructura está al oeste de la estructura Girardot-Ortega (Fig. 6). Se tomaron muestras de las capas de fosfato en el chert superior de la formación Guadalupe, cerca a la base del Campaniano (Cuadro 2). Las muestras de roca fosfática contenían hasta 28% P_2O_5 (Cuadro 3).

Secciones parciales del chert superior de la formación Guadalupe (loc. 12, 13 y 14, fig. 5).

Según Zambrano, 1962. Datos no publicados.

Quebrada Bañadera.

	Espesor (metros)
Chert	—
Roca fosfática, 3.48% P_2O_5	0.45
Roca fosfática, 3.63% P_2O_5	0.37
Roca fosfática, 23.63% P_2O_5	0.60
Chert	—

Base de la sección expuesta.

Sección entre las quebradas Guayabo y Mogollón.

	Espesor (metros)
Chert	—
Roca fosfática, 14.17% P_2O_5	0.60

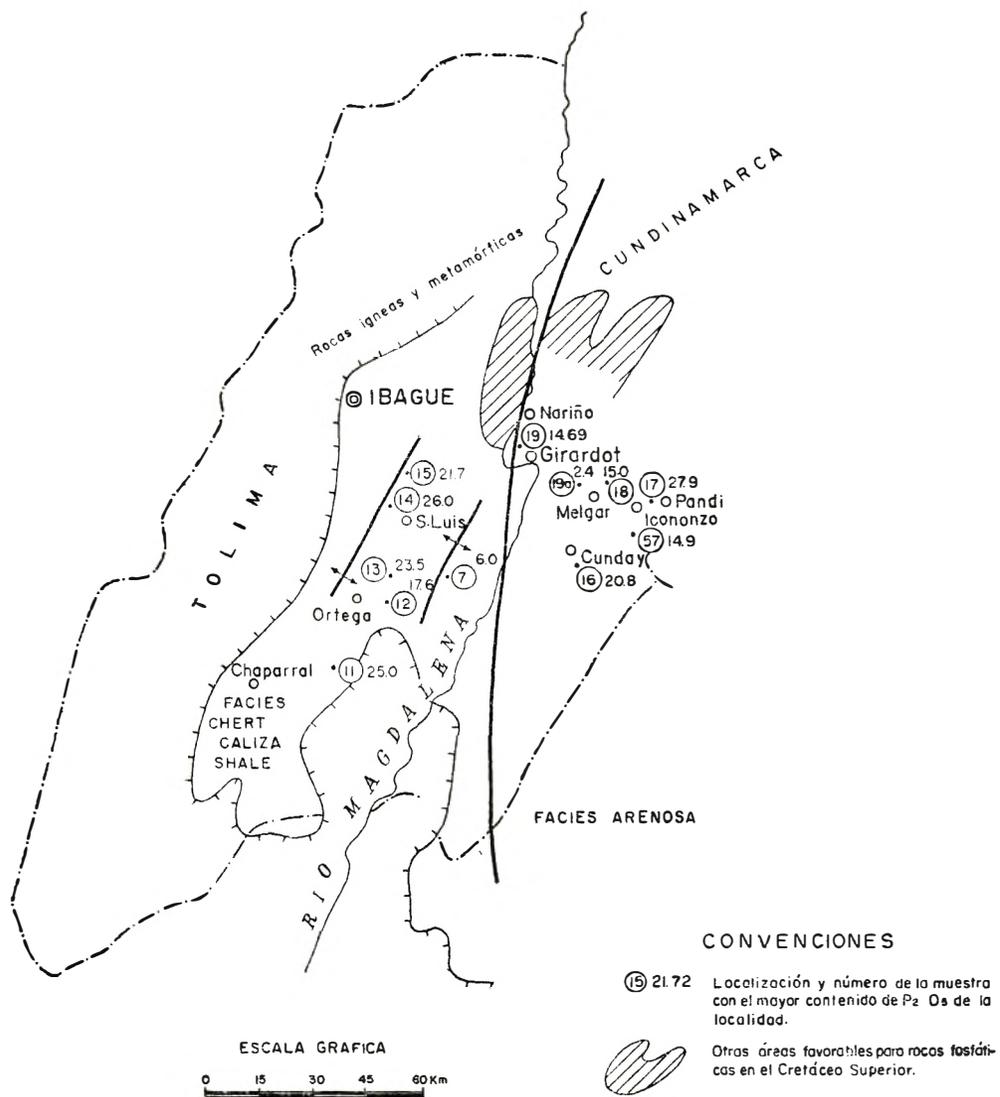


Fig.6- MAPA ESQUEMATICO DE LAS AREAS DE GIRARDOT-ORTEGA Y PANDI-CUNDAY

Chert	2.00
Roca fosfática, 27.96% P ₂ O ₅	0.40

Base de la sección expuesta.

Sección entre las quebradas Alcaparrosa y Guayabo.

	Espesor (metros)
Chert	0.40
Roca fosfática, 3.82% P ₂ O ₅	0.40
Roca fosfática, 28.96% P ₂ O ₅	0.40
Chert	—

Base de la sección expuesta.

Sección quebrada La Ceiba y Los Caracolíes.

	Espesor (metros)
Chert	—
Roca fosfática, 7.11% P ₂ O ₅	0.85
Chert	2.50
Roca fosfática, 7.11% P ₂ O ₅	0.60
Chert	1.50
Roca fosfática, 7.49% P ₂ O ₅	1.00
Chert	—

Base de la sección expuesta.

Sección en quebrada Mata de Guadua.

	Espesor (metros)
Chert	—
Roca fosfática, 6.02% P ₂ O ₅	0.40
Chert	0.60
Roca fosfática, 24.87% P ₂ O ₅	0.50
Chert	—

Base de la sección expuesta.

Sección entre las quebradas La Bañadera y Mata de Guadua.

	Espesor (metros)
Chert	—
Roca fosfática, 13.83% P ₂ O ₅	0.50
Chert	0.70
Roca fosfática, 5.48% P ₂ O ₅	0.40
Roca fosfática, 1.58% P ₂ O ₅	0.30
Chert	0.30
Roca fosfática, 8.43%	0.50
Chert	0.40
Roca fosfática, 26.80% P ₂ O ₅	0.40
Chert	—

Base de la sección expuesta.

Sección Cerro Chaquirco sobre el camino El Guavio-Ortega.

	Espesor (metros)
Chert	1.00
Roca fosfática, 6.37% P_2O_5	—
Chert	0.25
Roca fosfática, 9.62% P_2O_5	0.30
Chert	0.20
Roca fosfática, 22.39% P_2O_5	0.60
Chert	6.00
Roca fosfática, 17.74% P_2O_5	0.25
Chert	—

Base de la sección expuesta.

Sección quebrada La Irene.

	Espesor (metros)
Chert	4.00
Roca fosfática, 22.44% P_2O_5	0.50
Chert	8.00
Roca fosfática, 19.64% P_2O_5	0.40
Chert	1.00
Roca fosfática, 12.32% P_2O_5	0.45
Chert	—

Base de la sección expuesta.

Sección parcial de la Formación Guadalupe (Cretáceo Superior).**Los Cerros.**

(loc. 15, fig. 5).

Según Darío Botero, datos no publicados, 1966:

	Espesor (metros)
Chert gris, 0.40% P_2O_5	0.20
Arcilla gris, 0.40% P_2O_5	0.80
Arcilla amarilla, 0.40% P_2O_5	0.10
Roca fosfática, 7.82% P_2O_5	0.38
Roca fosfática, 4.67% P_2O_5	0.10
Roca fosfática, 8.42% P_2O_5	0.17
Roca fosfática, 10.74% P_2O_5	0.24
Roca fosfática, 3.16% P_2O_5	0.19
Arcilla silícea, 0.60% P_2O_5	0.19
Roca fosfática, 4.90% P_2O_5	0.27
Chert gris, 0.60% P_2O_5	0.12
Roca fosfática, 12.25% P_2O_5	0.47
Chert calcáreo, algo de fosfato en la base, 0.60% P_2O_5	0.20
Roca fosfática, 21.72% P_2O_5	0.69
Chert, 0.60%	0.30
Chert, algo de fosfato, 6.21% P_2O_5	0.30
Chert, calcáreo, 0.60% P_2O_5	0.33
Chert, 0.60% P_2O_5	0.83
Chert y arcilla, 1.80% P_2O_5	1.00+

Base de la sección medida.

Las secciones parciales de la zona fosfática del miembro chert superior de la formación Guadalupe indican la continuidad de las capas en la parte del área muestreada. La distancia aproximada entre las muestras tomadas más hacia el norte y más hacia el sur, es de cerca de 15 kilómetros y la capa que tiene el contenido más alto en P_2O_5 en cada sección, varía en espesor de 0.40 a 0.69 metros y tiene un promedio de cerca de 0.50 metros. El contenido en P_2O_5 varía de 21 a 27% con un promedio de 24%. Los cherts interestratificados analizados solamente en la sección tomada por Botero, contienen menos del 1% P_2O_5 .

El material es de grado suficientemente alto como para ser usado en aplicación directa a suelos ácidos de las vecindades inmediatas. La extracción del material tendría que hacerse por métodos subterráneos y sería muy costosa, particularmente porque el ancho de la galería de explotación tendría que tener un espesor de medio metro mayor que la capa fosfática y el chert tendría que ser separado de la roca fosfática.

Deberá hacerse un estudio adicional en esta área para determinar la extensión, el tonelaje y el tenor del material fosfático. Hay un área al occidente de Girardot (indicada en fig. 6 por achurado), donde no se ha hecho exploración para fosfato. Las capas en esta área, de acuerdo con el mapa geológico del Servicio Geológico Nacional (Plancha L-9 "Girardot") son de edad Cretáceo Superior y buzanan suavemente hacia el este. Los buzamientos suaves en el área podrían indicar la posibilidad de una explotación a cielo abierto, siempre que las capas de fosfato estén bajo una capa delgada de material estéril.

Pandi - Cunday

El fosfato en el área Pandi-Cunday (loc. 16-18, Fig. 5) fue localizado primero por Zambrano en un corte de carretera entre Boquerón y Melgar (loc. 18, Fig. 5). La sección fue examinada por los autores en septiembre de 1963 y se recomendó trabajo adicional en el área. Zambrano localizó el afloramiento sobre la carretera Cunday-Villarrica (loc. 16, Fig. 5).

Las capas de fosfato son apatita y arena cuarzosa, mal cementadas por una mezcla de arcilla y apatita. Figuras de difracción de rayos X de dos muestras de Pandi (JBC 1 A y 1 C, loc. 17, Fig. 5), indicaron que las únicas fases minerales eran apatita y cuarzo. La muestra 1 A era una muestra relativamente fresca y contenía más apatita que cuarzo, y trazas de un mineral de arcilla. La muestra 1 C estaba descolorada y blanqueada por meteoriza-

ción y contenía mucho más cuarzo que apatita, y también contenía trazas del mineral aluminico-fosfático wavelita.

Las capas de Pandí (loc. 17, Fig. 6) buzanan menos de 20° al norte y tienen rumbo casi este-oeste. Las capas de fosforita son delgadas (en promedio 0,5 metros) y contienen hasta 27.9% P_2O_5 (Cuadro 3). Ligeramente hacia el sur, cerca a Icononzo, la capa de fosfato está nuevamente expuesta en la carretera, pero aquí el rumbo es de N 45 W y el buzamiento es de cerca de 26° N. En esta localidad, la capa de fosfato tiene casi 1 metro de espesor y contiene 21.4% P_2O_5 . La capa de arena fosfórica en Icononzo es el mismo horizonte de la capa de Pandí, pero en Icononzo la capa está meteorizada (JBC 1C), y de ahí su contenido más bajo en fosfato.

Sección Parcial de la Formación Guadalupe, cerca a Pandí, según Francisco Zambrano.

(loc. 17, Fig. 6).

Reciente:

	Espesor (metros)
Material de deslizamiento. Contiene bloques de distintos tamaños de arenisca en una fina matriz arenosa	4.00
Fosforita gris no muestreada	0.30
Intervalo cubierto	0.50
Fosforita gris, arenosa, 27.96% P_2O_5	0.27
Arcilla, gris laminada, contiene unos pocos granos de fosfato ...	0.10
Chert, gris estratificado. Abundantes foraminíferos	0.33
Fosforita, gris, foraminíferos abundantes, 27.54% P_2O_5	0.18
Chert, gris oscuro a negro, estratificado	1.20
Arenisca, grano fino, algunos granos de fosfato en la parte superior de la capa (contacto gradacional con la capa inferior)	1.50
Fosforita arenosa, contacto irregular, discordante con la capa inferior. Contiene fragmentos redondeados de arcilla	0.10
Arcilla gris oscura, compacta	6.00
Caliza, estratificada, levemente fosfática	3.00
Caliza fosfática. No fue muestreada	0.40
Arenisca, grano fino, oscura, pocos granos de fosfato	0.80
Arenisca, grano fino, con unos pocos granos de fosfato	2.50

Base de la sección medida.

Zambrano midió en 1966 una sección fosfática de la formación Guadalupe Superior en la carretera entre Cunday e Icononzo (loc. 57, Fig. 5). La sección está en la facies arenosa, y las capas fosfáticas arenosas contienen hasta 14.9% P_2O_5 y están interestratificadas con chert. El material podría ser mejorado removiendo el cuarzo por métodos de flotación, pero la capa gruesa de arenisca en la base de la sección (la única suficientemente gruesa para ser explotada) contiene solamente 12.2% P_2O_5 . No se han

de la formación Guadalupe. La cuchilla tiene un rumbo norte y buza abruptamente hacia el occidente. Se necesita una perforación normal al buzamiento para determinar el espesor, tenor y extensión de la capa de fosfato.

Las capas arenosas fosfáticas están en la formación Guadalupe asociadas con capas de chert, y en la facies arenosa, más cerca a la plataforma que a la parte más profunda de la cuenca del miogeosinclinal. Hay alguna evidencia de redepositación de nódulos de fosfato en el afloramiento de Pandi, siendo esta la causa posible del alto tenor del material.

En el área Pandi-Cunday se necesita un mapeo geológico detallado. En el área de Pandi, los buzamientos bajos y la cubierta estéril delgada indican la posibilidad de explotación a cielo abierto, pero se hace necesaria la perforación para determinar el tonelaje y tenor del material que es adecuado para explotación a cielo abierto. El área está cubierta por un deslizamiento que impide observar la geología.

Sección parcial de la Formación Guadalupe, sobre la carretera de Boquerón a Melgar, por Zambrano.

(JBC - loc. 2 y 8, fig. 6).

	Espesor (metros)
Arenisca blanca, grano fino	+ 40
Arenisca, grano fino	5.00
Arcilla, gris, compacta	8.00
Chert, arcilloso, gris, abundantes foraminíferos, con fosfato en menor cantidad	0.45
Arcilla gris, algo de fosfato, abundantes foraminíferos 1.56% P_2O_5	1.00
Chert, arcilloso, algo de fosfato, muchos foraminíferos, 1.04% P_2O_5	0.40
Chert, arcilloso, fosfático, 1.21% P_2O_5	0.60
Arenisca, arcillosa, fosfática, 11.13% P_2O_5	1.30
Arcilla gris oscura, compacta, fosfato en menor cantidad	0.25
Arenisca, arcillosa, gris, fosfática, rica en foraminíferos, 6.45% P_2O_5	0.33
Arcilla, amarilla, ferruginosa	0.12
Arenisca, arcillosa gris. Contiene fosfato y algunos foraminíferos. 15.20% P_2O_5	0.50
Arenisca, arcillosa gris, con fosfato en menor cantidad. 2.20% P_2O_5	0.60
Arenisca gris, grano fino	0.95
Chert, gris arcilloso	4.60
Arenisca, gris fosfática, foraminíferos y huesos de peces. 8.58% P_2O_5	0.25
Chert, arcilloso, gris	0.95
Arenisca, blanca, grano fino, fosfato disperso	7.50
Arenisca, gris, grano muy fino	11.30
Arenisca, grano fino, algo de fosfato, 9.33% P_2O_5	0.33
Arcilla gris	0.14

Chert gris	0.80
Arenisca, grano fino, poco fosfato en el tope	9.00
Chert, arcilloso, gris, rico en foraminíferos	7.80
Arenisca fosfática, contiene foraminíferos y huesos de peces, 16.16% P ₂ O ₅	0.25
Chert, arcilloso	1.05
Arenisca, grano fino, abundante fosfato	0.30
Chert	0.80

Base de la sección medida.

Sección parcial de la Formación Guadalupe, carretera Cunday-Villarrica, por Zambrano.

(loc. 16, fig. 6).

	Espe- sor (metros)
Arcilla gris, fosfática, contiene foraminíferos. (Muestra FZ 809A), 5.34% P ₂ O ₅	2.00
Limolita, contiene foraminíferos. (Muestra FZ 809B), 0.22% P ₂ O ₅	1.20
Arcilla, arenosa, casi igual a la muestra 809A. No se tomó muestra.	0.80
Limolita, compacta. No se tomó muestra	0.75
Arcilla, gris, fosfática, contiene intercalaciones de arena. (Muestra FZ 809C, 6.21% P ₂ O ₅	1.20
Arenisca, contiene fosfato en cantidad menor. No se tomó muestra.	0.60
Chert, claro	3.30
Fosforita arenosa gris. (Muestra FZ 809D), 20.84% P ₂ O ₅	1.00
Chert, no se tomó muestra	15.00

Base de la sección medida.

La arena fosfática es susceptible de beneficio. Molienda seguida por flotación para remover el cuarzo, probablemente dará un buen concentrado. Solamente el área alrededor de Pandi-Icononzo es susceptible de explotación a cielo abierto. Los otros afloramientos están buzando abruptamente y tendrían que ser explotados por métodos subterráneos.

El tenor de las capas de fosfato de Pandi y Cunday es lo suficientemente alto (cerca del 28% P₂O₅), de manera que la roca podría ser utilizada directamente por acidulación para hacer superfosfato, siempre que el material fresco no contenga calcita. Las capas en la superficie están todas meteorizadas hasta cierto punto, y por lo menos una de las capas (muestra 1C) indica evidencia de remoción de fosfato por meteorización. La composición mineralógica de la capa fosfática en el subsuelo puede ser determinada por perforación.

Si el material no está presente en cantidades suficientes para garantizar el gasto de capital de una planta de acidulación o de una planta de flotación, sería de considerable beneficio moliéndolo y usándolo como aditivo para suelos especialmente ácidos.

La Sierra-Alto del Trigo-Caparrapí.

Las capas de caliza fosfática en el Alto del Trigo (Fig. 7) fueron muestreadas primero por Bürgl (Bürgl y Botero, 1962), quien anotó que las capas eran de edad Santoniano. La muestra más alta reportada por Bürgl fue la de caliza fosfática, que contenía 16.53% P_2O_5 . En un informe subsiguiente Bürgl (citado en Thompson, 1966), anotó que las calizas fosfáticas en el Alto del Trigo estaban en el Miembro Galembo de la Formación La Luna. En 1965, Pedro Mojica, del Servicio Geológico Nacional, hizo una sección detallada del Alto del Trigo y cuidadosamente muestreó las capas. La sección, modificada ligeramente por los autores, se da en las siguientes páginas. El contenido de P_2O_5 de las capas individuales varía de menos de 5% a 12.74% P_2O_5 . La unidad de caliza fosfática que contiene 12.74% P_2O_5 está formada de dos capas, de 8 y 10 centímetros de espesor, con un contenido de 14.98% y 10.95% P_2O_5 .

Sección a lo largo de la carretera, Alto del Trigo, por Pedro Mojica. (loc. 12, fig. 7).

Cretáceo Superior. - Formación La Luna.

(metros)	
responde	
Chert, negro, fracturado. Contiene unos pocos granos de fosfato, menos del 5% P_2O_5	4.60
Caliza, arenosa, negra. Pocas intercalaciones de arcilla. Menos del 5% P_2O_5	1.35
Chert, negro. Contiene granos de fosfato. 12.25% P_2O_5	0.40
Arenisca, friable. Menos del 5% P_2O_5	0.30
Chert, calcáreo, negro. Contiene capas de caliza arenosa y unas pocas capas de arcilla ferruginosa. Pocos granos de fosfato. Menos del 5% P_2O_5	10.25
Caliza, gris, pocos granos de fosfato. 5.17% P_2O_5	0.11
Caliza, arcillosa. Contiene unos pocos granos de fosfato. Menos del 5% P_2O_5	0.50
Caliza, gris. Contiene unos pocos granos de fosfato. 5.56% P_2O_5	0.14
Caliza, negra. Contiene granos de fosfato. 6.59% P_2O_5	0.26
Caliza, negra, interestratificada con capas de arenisca. Pocos granos de fosfato. Menos del 5% P_2O_5	1.70
Caliza, negra, interestratificada con chert negro y unas pocas capas delgadas de arcilla. Menos del 5% P_2O_5	10.50
Chert, negro, calcáreo. Contiene venas de calcita y nódulos de calcita. Menos del 5% P_2O_5	5.60
Chert, calcáreo, claro. Contiene granos de fosfato. 6.41% P_2O_5	0.75
Caliza, negra, arcillosa	0.80
Caliza, negra, dura. Contiene foraminíferos	7.30
Arcilla, calcárea, capas delgadas, fracturada	17.00
Caliza, negra. Contiene capas de arena y unos pocos granos de fosfato	2.10
Caliza, arenosa. Contiene foraminíferos y unos pocos granos de fosfato. 5.83% P_2O_5	1.30

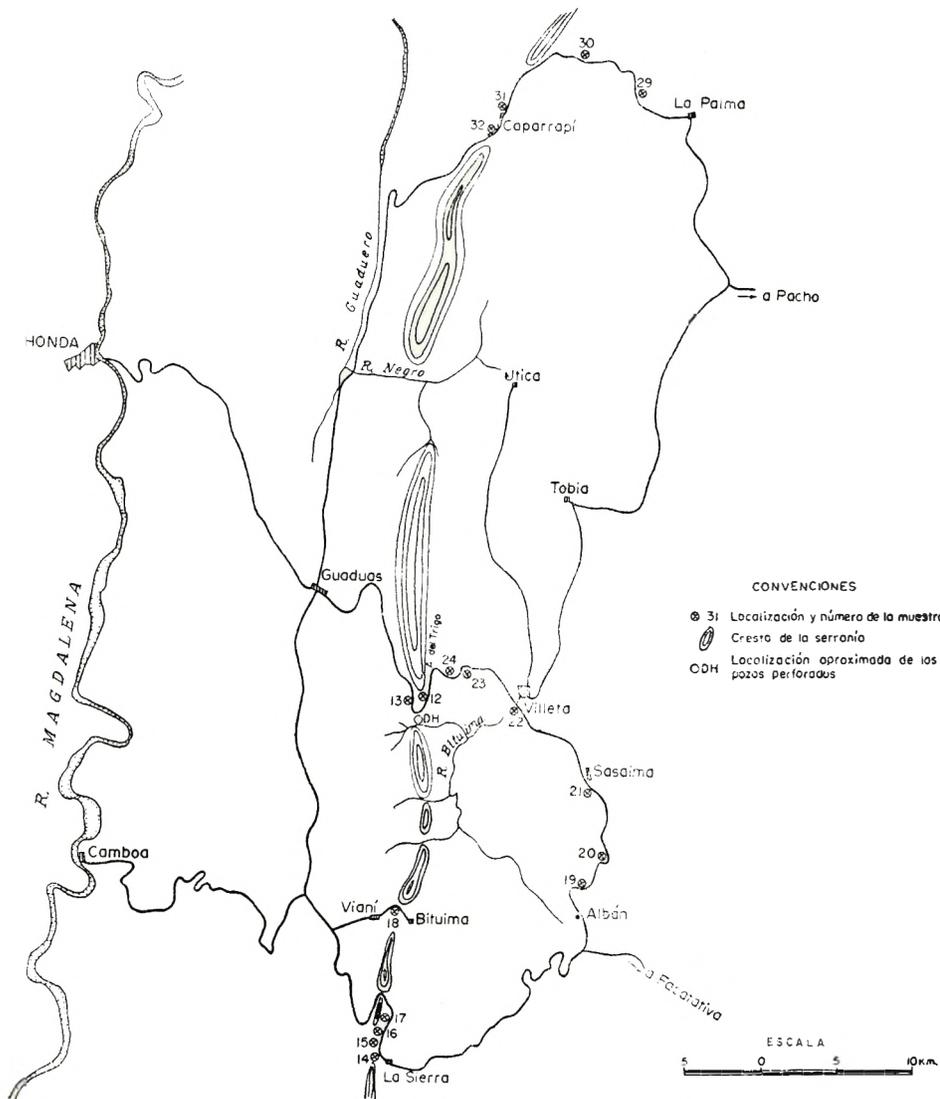


Fig.7 - MAPA ESQUEMATICO DEL AREA LA SIERRA-ALTO DEL TRIGO-CAPARRAPI

	Espesor (metros)
Caliza, arenosa, gris, alternando con arcilla. Pocos granos de fosfato	11.44
Arcilla, negra, laminada. Pocos granos de fosfato. Menos del 5% P ₂ O ₅	2.95
Caliza, negra. Contiene foraminíferos y unos pocos nódulos calcáreos en la parte inferior. Menos del 5% P ₂ O ₅	7.95
Arcilla, calcárea, negra. Contiene nódulos calcáreos	0.87
Caliza, negra. Contiene granos finos de fosfato. Menos del 5% P ₂ O ₅	0.52
Arcilla, negra. Contiene foraminíferos. Menos del 5% P ₂ O ₅	1.70
Caliza, negra. Contiene unos pocos granos de fosfato. Menos del 5% P ₂ O ₅	4.25
Caliza, arenosa, compacta. Contiene granos de fosfato. 8.65% P ₂ O ₅	0.30
Caliza, negra, interestratificada con arcilla calcárea. Pocos granos de fosfato. Menos del 5% P ₂ O ₅	12.00
Arcilla, gris. Contiene capas calcáreas y unos pocos granos de fosfato. Menos del 5% P ₂ O ₅	4.20
Arenisca, grano fino. Contiene unos pocos granos de fosfato. Menos del 5% P ₂ O ₅	0.92
Caliza, arenosa, gris. Contiene granos finos de fosfato. 5.37% P ₂ O ₅	0.30
Caliza, negra, interestratificada con arcilla. Pocos granos de fosfato. Menos del 5% P ₂ O ₅	6.10
Caliza, negra. Contiene granos de fosfato. 7.07% P ₂ O ₅	0.25
Caliza, negra, compacta. Contiene cuarzo fino y unos pocos granos de fosfato. Menos del 5% P ₂ O ₅	8.30
Caliza, arenosa, gris. Contiene granos de fosfato. 7.46% P ₂ O ₅	0.46
Caliza, negra. Contiene granos de fosfato. 2.40% P ₂ O ₅	0.67
Caliza, negra. Contiene abundantes granos de fosfato. 12.74% P ₂ O ₅	0.18
Arcilla, calcárea, capas delgadas. Granos de fosfato diseminados. 1.95% P ₂ O ₅	0.17
Caliza, negra, compacta. Algo de fosfato. 8.77% P ₂ O ₅	0.35
Arenisca, negra. Contiene granos de fosfato. 1.28% P ₂ O ₅	0.09
Caliza, negra, masiva. Contiene granos de fosfato. 8.00% P ₂ O ₅	0.11
Caliza, negra, masiva. Contiene estratificaciones delgadas de arcilla piritífera. Pocos granos de fosfato. Menos del 5% P ₂ O ₅	16.00
Caliza, negra, masiva. Contiene piritita, foraminíferos y unos pocos granos de fosfato. 6.10% P ₂ O ₅	0.65
Caliza, negra, laminada. Venas de calcita. Menos del 5% P ₂ O ₅	0.50
Caliza, gris. Contiene algo de fosfato. 7.36% P ₂ O ₅	0.32
Caliza, bien estratificada. Contiene piritita y granos dispersos de fosfato. Menos del 5% P ₂ O ₅	1.25
Caliza, negra. Contiene granos de cuarzo y piritita en el tope	18.00

Base de la sección medida.

Registros de perforación en la quebrada Santa Ibáñez, Alto del Trigo.

Profundidades
(en pies)

Pozo N° 1.	Registro simplificado, según Marino Arce.
0 - 30'	Suelo no muestreado.
30' - 73'	Arcilla negra, formación Cimarrona (?).
73' - 82'	Conglomerado (Tope de la formación Umir), cuarzo de grano

Profundidades (en pies)	
	fino. Con venas de calcita. Grano más fino, arcilloso en la base. El contacto inferior es gradacional.
82' - 312'	Arcilla negra calcárea, muy levemente fosfática. Formación Umir. Entre 89' y 89'8" conglomerado de cuarzo fino arenoso, que contiene unos pocos granos de fosfato.
Pozo N° 2.	
0 - 20'	Suelo no muestreado.
20' - 313'6"	Arcilla negra calcárea. Contiene foraminíferos que van aumentando con la profundidad. Formación Umir.
Pozo N° 3.	
0 - 20'	Recuperación mala. El núcleo consiste en arcilla negra, calcárea. Contiene foraminíferos y es levemente fosfático.
20' - 259'	Arcilla negra fosfática calcárea, formación La Luna.
259' - 281'6"	Arcilla (chert) negra silícea. Calcárea y fosfática. Formación La Luna, Miembro Galembo.
Pozo N° 4.	
0' - 13'	Se recobraron solamente 2" de arenisca arcillosa gris y carmelita blanqueada y alterada.
13' - 27'	Se recobraron 3 pies —una pulgada de tope es como la anterior—. La base 2'11" es arcilla calcárea negra.
27' - 43'4"	Arcilla calcárea negra, fosfática, pirítica, y contiene foraminíferos.
43'4" - 48'4"	Arcilla negra calcárea, contiene unos pocos granos de fosfato.
48'4" - 74'	Arcilla negra calcárea. Contiene unas pocas venillas de calcita.
74' - 79'6"	Arcilla negra calcárea. Contiene unos pocos granos de fosfato.
79'6" - 81'6"	Arcilla negra calcárea.
81'6" - 82'0"	Arcilla negra calcárea. Contiene granos de fosfato.
82' - 92'6"	Arcilla negra calcárea.
92'6" - 95'6"	Arcilla negra calcárea. Contiene algunos granos de fosfato.
95'6" - 162'	Arcilla calcárea negra, venas y granos de pirita, venillas de calcita, foraminíferos abundantes.
Pozo N° 5.	
0 - 3'	Suelo no muestreado.
3' - 147'	Arcilla negra calcárea. Contiene foraminíferos, venillas de calcita débilmente fosfática.
87' - 88'6"	Chert.
116' - 130'	Arcilla silícea (chert) dura.
134' - 136'6"	Arcilla calcárea. Contiene unos pocos granos de fosfato.
147' - 283'	Arcilla o chert negro silíceo. Contiene venillas de calcita y pirita, y es texturalmente igual a la arcilla calcárea mencionada.
Pozo N° 6.	
0 - 2'	No muestreado.
2' - 104'	Arcilla o chert negro silíceo. Contiene foraminíferos, venillas de calcita, pirita, y es levemente fosfática.
104' - 106'	Arcilla negra calcárea. Contiene unos pocos granos de fosfato.
106' - 116'	Arcilla negra silícea. Contiene granos de fosfato.
116' - 145'	Chert negro, o arcilla silícea; no hay fosfato visible.
145' - 150'	Como 106 - 116.
150' - 156'	Como 116 - 145.
156' - 157'3"	Como 106 - 116.
157'3" - 161'6"	Como 116 - 145.
161'6" - 164'3"	Como 106 - 116.
164'3" - 200'	Chert negro o arcilla silícea. Contiene unas pocas venas delgadas (1 a 2 pulgadas de espesor) que contienen granos de fosfato.

Se hicieron seis perforaciones en la quebrada Santa Ibáñez, justamente al sur del Alto del Trigo, en los últimos meses de 1965 y en los primeros de 1966. Las perforaciones penetraron la sección desde la formación Cimarrona, a través de la formación que litológicamente correlacionen con las formaciones Umir y La Luna. Resúmenes breves de los registros fueron hechos por los autores y por Marino Arce del Inventario Minero (p. 58-59). En el Cuadro 3 se indican los datos sobre las muestras. Las perforaciones están localizadas en el fondo de la quebrada, varios cientos de metros debajo de la sección del Alto del Trigo. Las capas en esta localidad buzcan cerca de 60° al este y tienen un rumbo noreste. Las capas están sobre el flanco occidental del anticlinorio de Villeta.

La cresta de la cuchilla sobre la cual aflora la sección del Alto del Trigo se extiende hacia el norte y hacia el sur por varios kilómetros (Fig. 7). La sección al sur de La Sierra (loc. pág. 123, Fig. 7) fue examinada primero por Marino Arce y Francisco Zambrano del Inventario Minero y más tarde fue muestreada por los autores. La sección no se midió en detalle, y solamente se tomaron muestras aisladas. En La Sierra y al norte, las capas tienen una dirección noreste y buzcan 40° al occidente. Litológicamente la sección es casi idéntica a la sección del Alto del Trigo. Las capas son chert negro o arcilla silícea, arcilla negra calcárea, caliza, y caliza fosfática. La capa más fosfática tiene un espesor de cerca de 30 cms. y está formada por nódulos de fosfato negro redondeados, cuyo tamaño varía de unos pocos milímetros a cerca de un centímetro de diámetro en una matriz de calcita y cuarzo. El contenido de la capa es de 17.75% P_2O_5 . Una capa de caliza negra, estratigráficamente debajo de la capa de caliza fosfática, contiene 2.8% P_2O_5 .

La cresta de la cuchilla entre La Sierra y el Alto del Trigo está cruzada solamente por la carretera entre Vianí y Bituima. Se notó en esa sección una capa de caliza fosfática con un espesor de unas pocas pulgadas, pero a lo largo de esta carretera la sección consiste principalmente en arcilla negra (loc. 18, fig. 7). La formación La Luna es muy angosta en esta localidad y la sección está perturbada estructuralmente, ya que está muy cerca de la falla de Bituima. La sección no es típica de la formación La Luna, y puede pertenecer completamente a la formación Villeta. De todas maneras, las capas de caliza fosfática encontradas en La Sierra y en el Alto del Trigo no están presentes en la carretera Vianí-Bituima.

Al norte del Alto del Trigo, la cresta de la cuchilla fue cruzada por la carretera La Palma-Caparrapí. D. H. McLaughlin, Jr., del Servicio Geológico de los Estados Unidos (comunicación escrita, 1965), fue el primero en sugerir que la sección a lo largo de la carretera La Palma-Caparrapí fuera examinada para fosfato. La sección en Caparrapí (loc. 30 y 31, fig. 7) es estructuralmente compleja, y una sección parcial examinada por los autores y por McLaughlin y Arce es como sigue:

	Espesor (metros)
Cretáceo Superior. - Formación La Luna (?)	
Arenisca fosfática, carmelita, meteorizada (muestra 31D). Contiene 4.5% P_2O_5	0.3
Fosforita, arenosa, carmelita-grisosa. Nódulos de fosfato redondeados pero de forma irregular, gris, carmelita, negro (muestra 31C). Contiene 3.9% P_2O_5	1.0
Caliza, capas delgadas, negra. No fue muestreada	2.0
Caliza, negra, fosfática (muestra 31B). Contiene 1.6% P_2O_5	0.6
Fosforita, arenosa, muy similar a la muestra 31C. (Muestra 31A). Contiene 4.2% P_2O_5	0.3
Caliza, negra, no muestreada	0.6 +
Base de la sección medida.	

La muestra 32 (Fig. 7) fue tomada a lo largo de la carretera al sur de la población de Caparrapí. La muestra está formada por arenisca negra fosfática, y contiene 0.6% P_2O_5 . Las areniscas fosfáticas muestreadas en la localidad 31 no afloran en la localidad 32.

No se ha hecho ningún trabajo al norte de Caparrapí. Sobre la extensión topográfica de la cuchilla, y entre Caparrapí y Alto del Trigo, la sección fue examinada a lo largo de la línea del ferrocarril, donde no se encontraron capas de fosfato, y la sección es extremadamente compleja estructuralmente (D. H. McLaughlin, Jr., comunicación oral, 1966). El mapa fotogeológico publicado (Plancha K-10, "Villeta") del Servicio Geológico Nacional, muestra que la sección Cretáceo Superior está cortada por accidentes estructurales entre Caparrapí y el Alto del Trigo.

La capa de caliza fosfática en el Alto del Trigo y La Sierra puede utilizarse solamente como roca molida para aplicación directa a los suelos. Se encuentran enormes tonelajes de este tipo de material en el área, pero el tenor en un ancho explorable es bajo, probablemente menos del 10% P_2O_5 . Es necesario efectuar trabajos adicionales para determinar el tenor y el tonelaje del material disponible.

La fosforita en Caparrapí parece ser mejor que la caliza fosfática en el Alto del Trigo, pero su extracción podría ser muy difícil debido a las complicaciones estructurales. No hay datos

disponibles sobre tonelaje, y esta sección debe ser estudiada en detalle, particularmente hacia el norte, para determinar su extensión, y el tonelaje y tenor de la fosforita. Las capas de arena fosfórica podrían probablemente ser mejoradas por molienda y flotación, pero los costos serían altos, y tiene que haber grandes tonelajes de material fácilmente explotable antes de que pueda instalarse una planta de flotación. Si el tonelaje no es lo suficientemente grande para suplir a una planta de flotación, el material es todavía valioso como roca para aplicación directa a los suelos, y es posible que algún mejoramiento se puede lograr por medio de trituración diferencial.

Se recomienda un mapeo geológico detallado adicional en el área de Caparrapí y al norte, y si los resultados son favorables, puede ser necesario perforación para determinar tenor y tonelaje.

FORMACION GUADALUPE — BOGOTA A DUITAMA

Las ocurrencias de fosfato de Bogotá a Duitama (Fig. 8) están en la formación Guadalupe y están asociadas con los cherts superior e inferior de edades Santoniana y Campaniana (Cuadro 1). Las capas de fosfato son arenosas y están asociadas con chert o arcilla o limo silíceo, arenisca y arcilla negra, y solamente material calcáreo en pequeñas cantidades. El área está en la facies arenosa, y varía desde la orilla de la plataforma (como en el área al este de Bogotá) casi hasta la unión con la facies caliza-arcilla-chert de agua profunda (como en el área cerca a Tunja).

La sección al este de Bogotá (muestras JBC-3-7, Fig. 8) está cerca a la plataforma. La formación Guadalupe es gruesa y está compuesta de arenisca de grano fino, limolita silícea, y arcillas negras y grises. Exceptuando las arcillas, las rocas clásticas son de colores claros, blanco, gris y carmelita, y algunas están manchadas de rojo con óxido de hierro. Las capas de fosfato usualmente tienen menos de 30 cm. de espesor, y contienen solamente cantidades pequeñas de granos de fosfato. Por ejemplo, en la localidad donde fue tomada la muestra 3 (Fig. 8) la sección es estructuralmente muy compleja, y la única capa que contiene fosfato es de un espesor inferior a 30 cm. y está compuesta de granos de cuarzo medio a finos, con unos pocos granos de fosfato carmelita. No hay capas de fosfato ni interés económico en el área al este de Bogotá.

La sección al norte de Bogotá hacia Duitama está en la facies arenosa, pero está más lejos de la plataforma que la sección este de Bogotá y algunas de las muestras de roca de fosfato fueron tomadas cerca a la facies de caliza-chert-arcilla negra. En general,

las capas de fosfato son más gruesas y contienen más partículas de fosfato en una dirección septentrional desde Bogotá hasta cerca a Tunja. Por ejemplo, cerca a Turmequé (loc. 29 y 55, Fig. 8) las capas de fosforita arenosa tienen hasta 3.5 metros de espesor (sección por Mojica), y contienen hasta 30% P_2O_5 (muestra 55F, Cuadro 3).

La formación Guadalupe en la carretera Zipaquirá-Pacho (loc. 23, Fig. 8) fue muestreada por Bürgl y Botero (1962) y por los autores (Cuadro 3). La mejor capa de fosfato en esta área tiene un espesor de cerca de 20 cms. y contiene 25.11% P_2O_5 (Bürgl y Botero, 1962, p. 28). La muestra JBC-9 fue tomada en esta área y es probablemente la capa de alto tenor muestreada por Bürgl. La roca consiste en nódulos de fosfato redondeados en una matriz de limo cuarzoso, arcilla y material orgánico. La capa está en una secuencia de arcilla negra de fuerte buzamiento, limolita y arenisca de grano fino. Algunas de las capas arcillosas son calcáreas.

Las muestras tomadas en El Santuario (loc. 25, y JBC-10, Fig. 8) son de arenisca fosfática. Las capas de arenisca fosfática tienen 30 a 60 cm. de espesor y están interestratificadas con arcilla silícea y arenisca masiva no fosfática. El área es estructuralmente compleja. Cerca de 3 kms. al norte de la localidad 25 y a lo largo del rumbo, otro afloramiento de la formación Guadalupe está compuesto por arenisca, arcilla silícea o chert y arcilla negra. Este afloramiento (muestra JBC 11) no contiene capas de arenisca fosfática, y solamente una capa delgada de arenisca con unos pocos nódulos de fosfato.

Una capa delgada de arenisca fosfática de 0.30 m. de espesor, fue mustrada por Mojica cerca a Ubaté (loc. 26, Fig. 8). La capa contiene 15.3% P_2O_5 y está asociada con arenisca, chert, arcilla y pequeñas cantidades de caliza.

Capas de arena fosfórica de la formación Guadalupe fueron muestreadas en varias localidades cerca a la ciudad de Tunja (loc. 28, 28A, 29, 33 y 55, Fig. 8). Las mejores capas de fosforita contienen cerca de 20% P_2O_5 (Cuadro 3) y aun cuando ellas están en un área fallada y plegada, los plegamientos son abiertos y los buzamientos son moderados. En todas las localidades las capas de arenisca fosfórica están asociadas con arcilla silícea de color claro, limolita y arenisca de grano fino. En la sección al sur de Tunja (loc. 29, Fig. 8) las capas buzan suavemente, están cubiertas por capas delgadas de material estéril y posiblemente podrían ser extraídas, al menos localmente, por métodos a cielo abierto. Una sección parcial de esta localidad fue medida por los autores.

Sección de la Formación Guadalupe, cerca a Tunja.

(loc. 29, fig. 8).

Cretáceo Superior. - Formación Guadalupe.

	Espesor (metros)
Arenisca, fosfática (muestra JBC-42A). Contiene 17.7% P_2O_5 ...	0.20
Arcilla silícea, no analizada	0.50
Arenisca, fosfática (JBC-42B). Contiene 16.2% P_2O_5	0.20
Arcilla, contiene algo de fosfato, no analizada	0.30
Arenisca, fosfática, masiva. Los granos de fosfato son más abundantes en los 0.40 metros superiores (JBC-42C - 22.1% P_2O_5) que en los 0.60 metros inferiores (JBC-42D - 5.7% P_2O_5) ...	1.00
Base de la sección medida.	

Una sección similar fue muestreada sobre la carretera Chontá-Machetá (loc. 28, Fig. 8), donde una secuencia de arcilla silícea con fuerte buzamiento está interestratificada con arena fosfática. El espesor total de la secuencia arcilla-arena fosfática es de cerca de 2 metros, y una muestra de una de las capas de fosfato contiene 14.2% P_2O_5 . Sobre la carretera entre Machetá y Guateque (loc. 28A, Fig. 8) hay otro afloramiento de la formación Guadalupe en la misma secuencia arcilla silícea-arena fosfática. Aquí la mejor capa de fosfato es de un espesor de 0.5 metros y contiene 19.6% P_2O_5 .

Cerca de la población de Turmequé, Mojica, del Inventario Minero, descubrió y muestreó areniscas de fosfato en la misma secuencia de arcilla silícea de colores claros, y limolita. Su informe sobre la ocurrencia es como sigue:

DEPOSITOS DE FOSFORITA CERCA A TURMEQUE — BOYACA

Por Pedro E. Mojica G.

En las cercanías de la población de Turmequé se ha encontrado un buen yacimiento de arenisca fosfática, el cual posiblemente corresponde a la parte inferior de la formación Guadalupe.

El yacimiento principal fue localizado en una cantera sobre la carretera que comunica las poblaciones de Turmequé y Ventaquemada en un sitio denominado La Cascajera, a unos 4 kilómetros al SE de Ventaquemada. La capa de fosforita únicamente está bien expuesta en el corte que hace la carretera y aparentemente se extiende 3 kilómetros al N. y 6 kilómetros al S. El manto fosfático forma parte del flanco E de un sinclinal de rumbo N-NE. Este sinclinal parece estar interrumpido por fallas hacia la parte N. y NW. El material es una arenisca formada por granos de apa-

tita principalmente. La cementación es muy escasa. El espesor de la capa en el afloramiento es de 3.6 m, e incluye 3 delgadas intercalaciones arcillosas que suman unos 30 cmts. El detalle de este afloramiento puede estudiarse en el cuadro siguiente.

Sección Ventaquemada-Boyacá, por Pedro Mojica.
(loc. 55-A, fig. 11).

Cretáceo Superior. - Formación Guadalupe.

	Espesor (metros)
Arenisca, color claro, masiva, contiene algo de fosfato	1.80
Limolita, calcárea	0.60
Arcillolita, verde	6.60
Arenisca, contiene algo de fosfato	0.40
Arcillolita, verde	4.50
Arenisca, fosfática	0.30
Limolita, verde	0.18
Fosforita, arenosa	0.15
Limolita, gris oscuro	0.60
Fosforita, calcárea	0.09
Limolita, gris oscuro	0.15
Fosforita, arenosa	0.22
Limolita, color claro	0.70
Fosforita, arenosa	0.06
Limolita, color claro	0.20
Fosforita, arenosa. Contiene intercalaciones delgadas de arcillolita (0.40 m.).	
Parte superior (espesor de cerca de 1.20 metros). Contiene 21.24% P ₂ O ₅ . Parte inferior (tiene cerca de 2.40 metros de es- pesor). Contiene 18.10% P ₂ O ₅	3.60
Limolita y arenisca, interestratificada.	

Base de la sección medida.

Este afloramiento muestra un rumbo N.10°E. y un buzamiento de 55° NW y se encuentra muy cerca al eje del sinclinal formando su flanco E. Varias quebradas cortan el sinclinal transversalmente y pueden ser muy útiles para determinar el comportamiento de la capa fosfática hacia el SW.

Otros afloramientos.

(loc. 55B, fig. 11).

Encima de la quebrada Jurpaneca, en el punto donde la carretera a Ventaquemada tuerce hacia el W, se halla otro afloramiento de arenisca fosfática con un espesor de un metro, debajo de areniscas masivas blandas y encima de una serie de limolitas, arcillas y areniscas laminares. Se hizo un análisis químico que indicó valores de 27.61% en P₂O₅. El rumbo es NE y buza 35° al E.

Aunque el área se halla afectada por 2 fallas, este afloramiento indica una posible continuación hacia el SW, formando parte del flanco E de un anticlinal de eje NE.

Aposentos (loc. 55C).

Sobre la carretera que de Turmequé conduce a Tibaná, afloran dos capas: una de 60 cm y otra de 1 m, yaciendo entre limolitas y areniscas; las capas buzando fuertemente hacia el W.

Resultados del análisis químico: 55 C (A) = 15.15% P_2O_5 y 55 C (B) = 15.32% P_2O_5 .

loc. 55-D (K 47.11).

Sobre la carretera a Tibaná, el yacimiento consta de areniscas fosfáticas con contenido en P_2O_5 menor de 5% y una capa de arenisca fosfática de 0.60 m de espesor con buzamiento muy suave hacia el N. Resultado del análisis químico: 15.30% P_2O_5 .

loc. 55-E.

A unos 700 m al E de la localidad anterior, por la carretera a Tibaná, en el sitio denominado "La Calera", hay un afloramiento de un espesor de 0.60 m de arenisca fosfática, que buza 30° al W. Está interstratificada con limolitas, arcillas y areniscas. El resultado del análisis químico fue 15.3% P_2O_5 .

loc 55-G-F, fig. 8.

A 1.5 km. al N. de Nuevo Colón, por carretera que va a Tunja, se presentan en capas muy fracturadas y plegadas. Los espesores parecen ser de 1.00 y 0.6 m.; el rumbo parece ser N. 70°E, y buza 55° al SE. Los resultados del análisis químico dieron: 55 F = 30.74% P_2O_5 y 55 G = 28.73% P_2O_5 .

OTROS AFLORAMIENTOS EN EL DEPARTAMENTO
DE BOYACA

La formación Guadalupe fue muestreada por los autores cerca al Lago de Tota (loc. 31, Fig. 8). Las capas tienen buzamiento empinado y son estructuralmente complejas, y las capas de arenisca fosfática presentes son delgadas y de bajo tenor (7.30% P_2O_5 , Cuadro 3).

Al occidente de Tunja (loc. 30, Fig. 8) una secuencia de arcilla color claro, limolita y arenisca de grano fino con buzamiento fuerte de la formación Guadalupe contiene una capa delgada de

arena fosfórica con 21.00% y al este de Socha (loc. 33, Fig. 8) Bürgl y Botero (1962), muestrearon la misma secuencia de arcilla silíceas, areniscas y roca fosfática. En esta localidad, Bürgl (1962) da a las capas una edad Santoniano. La roca fosfática contiene un máximo de 20.2% P_2O_5 .

Se hizo un recorrido al occidente de Tunja para examinar las rocas de edad Cretáceo Inferior. Una muestra de arcilla negra de la formación Villeta fue tomada cerca de Vélez (loc. 32, Fig. 8). La muestra contenía solamente 0.2% P_2O_5 . El recorrido se terminó cerca a Vélez, debido a la falta de tiempo, pero la sección al occidente de esta población debe ser investigada, porque hay posibilidad de que las rocas de la formación La Luna estén expuestas en las colinas al occidente de Vélez.

FORMACION LA LUNA, SANTANDER Y NORTE DE SANTANDER

Las localidades de fosfato en Santander, Norte de Santander y Táchira en Venezuela fueron visitadas y muestreadas por los autores en octubre, 1966, acompañados de D. E. Ward, del Servicio Geológico de los Estados Unidos, y Marino Arce, Gilberto Manjarrés y Raúl Perea, del Inventario Minero. El Miembro Galembó de la formación La Luna, fue muestreado en varias localidades de Santander y Norte de Santander y en dos localidades de Venezuela-La Mina Lobatera (loc. 47, Fig. 9) y sobre la carretera entre San Cristóbal y Rubio (loc. 46, Fig. 9). El mapa base que muestra el afloramiento del Miembro Galembó fue compilado por D. Ward y Eduardo Gómez, del Inventario Minero (Fig. 9). Muchas áreas de afloramiento fueron muestreadas (Fig. 9 y Cuadro 3) y se encontró una arena fosfórica muy buena, con potencial para un gran depósito cerca a Sardinata (loc. 49, Fig. 5; loc. 84-90, Fig. 9). Áreas cerca a Orú (loc. 51, Fig. 5); Salazar (loc. 43, Fig. 5); Suratá (loc. 56, Fig. 5), y San Vicente (loc. 36, Fig. 5) también contienen capas de fosforita que justifican trabajos posteriores. En todas las otras áreas donde el Miembro Galembó fue muestreado las capas de fosforita son delgadas (usualmente de menos de 30 centímetros) y están en áreas que son estructuralmente tan complejas que su extracción no podrá ser posible.

En una forma general, las capas de fosfato son más gruesas, más numerosas y contienen más nódulos fosfáticos y menos calcita en las partes septentrional y occidental del área, en las partes más profundas del miogeosinclinal, con la excepción de que en

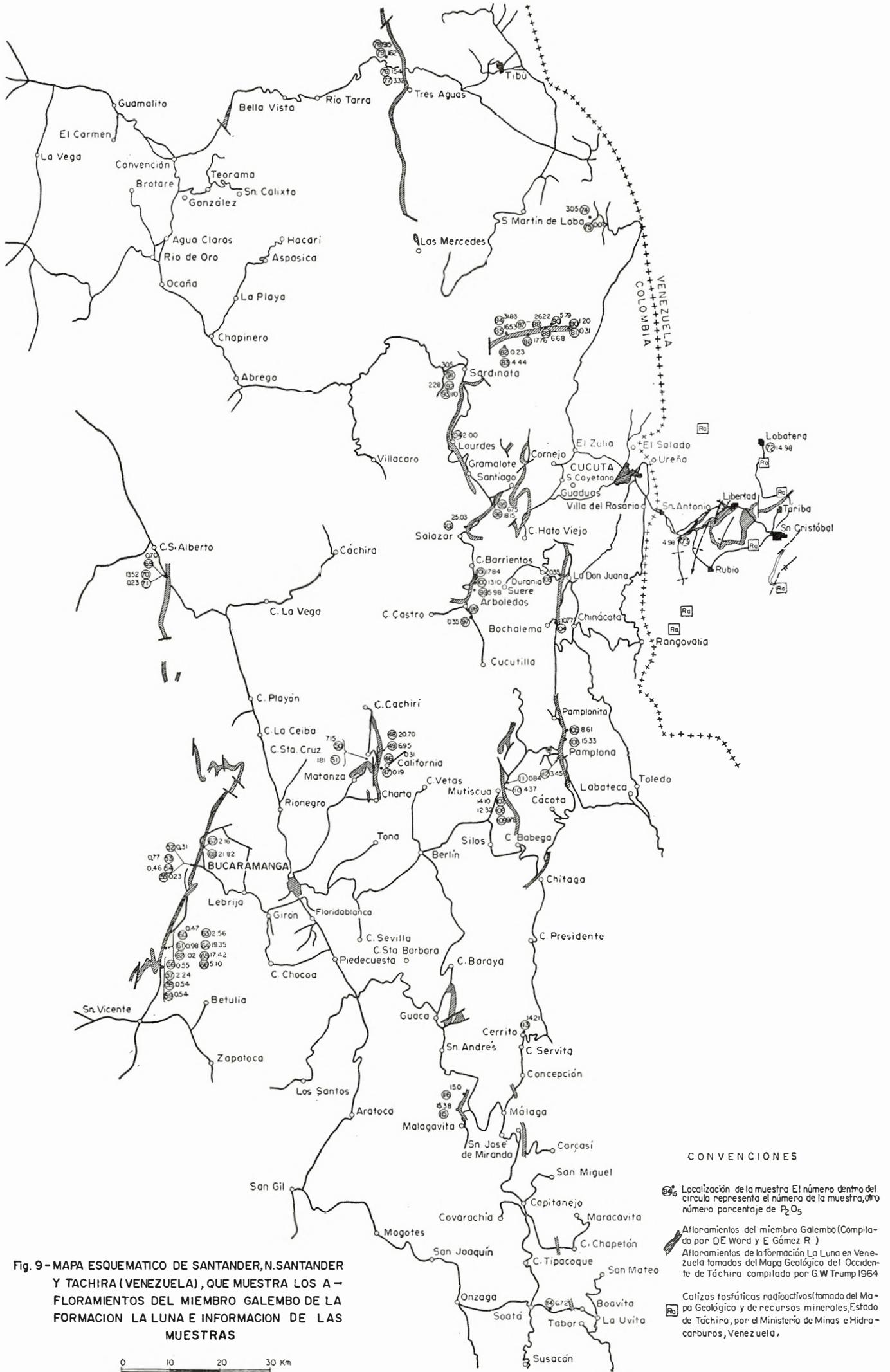


Fig. 9 - MAPA ESQUEMATICO DE SANTANDER, N. SANTANDER Y TACHIRA (VENEZUELA), QUE MUESTRA LOS AFLORAMIENTOS DEL MIEMBRO GALEMBO DE LA FORMACION LA LUNA E INFORMACION DE LAS MUESTRAS

0 10 20 30 Km

ESCALA

Orú, al norte de Sardinata, las capas de fosforita son delgadas y contienen más calcita.

La sección en Orú es posiblemente una facies de agua menos profunda, probablemente borde de la facies de mar epicontinental de Bürgl (1961) que está tipificado por la sección de la Península de la Guajira. Las capas de fosforita están asociadas con chert, caliza y arcilla negra, y están ya sea en la facies caliza-chert o en la facies fosforita.

Las mejores muestras de fosforita (Cuadro 3) contienen 30 a 32% P_2O_5 y los tenores en la facies fosforita, cerca a Sardinata, son mejores que los de la facies caliza-arcilla negra-chert. Los tenores del facies epicontinental, cerca a Orú, parecen inferiores que cualquier otra facies (Cuadro 3 y Fig. 9).

Sardinata.

(loc. 49, fig. 5).

La arena fosfórica de Sardinata está localizada a lo largo de la carretera que está en construcción entre Sardinata y la carretera Cúcuta-Tibú. El primer afloramiento está cerca de un kilómetro al este de la quebrada La Chocona (muestra 84 y 85, Fig. 9). La capa de fosforita tiene cerca de dos metros de espesor, buza cerca de 35° al norte con rumbo suroeste. El fosfato está en la superficie, y la sección expuesta en el corte es aproximadamente como sigue:

Miembro Galembó. - Formación La Luna.

	Espesor (metros)
Fosforita, arenosa, negra, carmelita y gris. Nódulos de fosfato redondeados pero de forma irregular, negros, carmelitos y grises y granos de cuarzo mal cementado por una mezcla de apatita y arcilla. (Muestra 84, contiene 31.8% P_2O_5)	2.00
Arcilla, silíceá, negra en capas delgadas. Contiene algo de fosfato. No muestreada	2.00
Caliza, negra, arenosa, fosfática (muestra 85, contiene 16.5% P_2O_5)	2.00
Base del afloramiento.	

Las dos muestras 84 y 85 fueron pasadas en el difractorómetro de rayos X. La muestra 84 contenía apatita como fase mineral principal, algo de cuarzo, y trazas de arcilla. El mineral de arcilla estaba presente en tan poca cantidad que no pudo ser identificado. La muestra 85 contenía calcita, apatita y cuarzo como únicas fases minerales identificables.

La arena fosfórica en el afloramiento (muestra 84) está meteorizada, pero la caliza fosfática (muestra 85) aparece fresca solo a 2 metros debajo de la arenisca.

La fosforita está cortada al este, quizás por una falla, y la sección que está debajo del fosfato al occidente (muestras 82 y 83, Fig. 9) se repite a lo largo de la carretera hacia el este. La sección que subyace el fosfato está formada por arcilla negra pirítica calcárea, y capas delgadas de caliza negra que contienen unos pocos granos de fosfato.

Cerca de 5 kms. al este, la capa de fosforita está expuesta de nuevo a lo largo del corte de la carretera (muestra 86, Fig. 9), pero aquí las capas buzan suavemente al norte y el rumbo es casi este-oeste. La capa está expuesta por lo menos un kilómetro a lo largo de la carretera (a la localización de la muestra 88, Fig. 9), y está cubierta solo por una pequeña capa de material estéril. La muestra 87 (Fig. 9) es de material limoso meteorizado y contiene fragmentos de chert, que es el material estéril de la arena fosfática.

Las muestras 86 y 87 fueron pasadas en el difractor de rayos X. La muestra 86 está formada por cuarzo y apatita como las únicas fases minerales importantes, pero hay trazas de un mineral de arcilla. El mineral de arcilla no pudo ser identificado positivamente. El cuarzo es más abundante en la muestra 86 de lo que es en la muestra 84.

La muestra 87, del material meteorizado que sobreyace la fosforita, está formada casi enteramente de cuarzo, pero hay trazas de un mineral de arcilla. Igualmente aquí el mineral de arcilla está en cantidades tan pequeñas que no fue posible su identificación.

Al este, las muestras 89 y 90 (Fig. 9) son de arena glauconítica y caliza y pueden representar el tope de la formación Galembo o la base de la formación sobreyacente, de las cuales ambas contienen glauconita (Trump y Salvador, 1964; Morales, et al., 1958).

Las muestras 80 y 81 (Fig. 9), aún más hacia el este, son de una arcilla arenosa carmelita y contienen algo de fosfato, y una caliza fosfática arenosa negra. Aquí las capas buzan abruptamente, y si ellas están en el Miembro Galembo, hay plegamiento o fallamiento entre este afloramiento y los afloramientos casi horizontales que están hacia el oeste.

La arena fosfórica que yace casi horizontalmente en las localidades 86 y 88 (Fig. 9) no contiene sino arena de cuarzo y apatita. La capa tiene entre 1 y 2 metros de espesor, está expuesta a lo largo de la carretera por lo menos por un kilómetro, y se extiende hacia el sur bajo una capa delgada de material estéril, por una distancia quizás de un kilómetro. Hacia el norte, la capa yace bajo material estéril más grueso: bien rocas cretáceas más jóvenes o terciarias, pero se puede extender por una larga distan-

cia. Será necesario estudio geológico detallado y perforaciones para determinar el tonelaje y tenor del material.

El afloramiento está meteorizado, y la capa en el subsuelo puede diferir en carácter de la del afloramiento. La calcita puede haberse disuelto en el afloramiento meteorizado.

La fosforita en Sardinata contiene reservas, en la superficie, de cerca de 1.5 millones de toneladas, pero el tonelaje potencial del depósito enterrado al norte puede ser muy grande, y podría medir muchos millones de toneladas. Gran parte del material está enterrado a mucha profundidad, para ser extraído por métodos de cielo abierto, y no se conocen los detalles de la estructura. Deben hacerse perforaciones o apiques en las áreas menos profundas para determinar estructura, tonelaje y tenor, y el carácter mineralógico del material en el subsuelo.

La fosforita expuesta en la superficie, con base en el examen de rayos X de dos muestras, contiene solamente apatita y cuarzo, y el tenor en porcentaje de P_2O_5 es lo suficientemente alto como para que el material pueda utilizarse directamente por acidulación para hacer superfosfato o triple superfosfato. A pesar de que el carácter de la roca fresca en el subsuelo no se conoce, se piensa que la fosforita contiene solamente pequeñas cantidades de calcita donde está sin meteorizar.

Al sur de Sardinata (muestras 91-93, Fig. 9) el afloramiento del Miembro Galembó está derrumbado y es estructuralmente complejo. Las capas buzan abruptamente, y están formadas de arcilla silícea en capas delgadas o chert, caliza, arcilla negra y fosforita. Una muestra de arena fosfórica (muestra 91), muy similar en litología a las muestras de Sardinata, de esta localidad, no se encontró "in situ", de manera que su espesor y posición en la sección es desconocida.

Orú.

(loc. 51, fig. 5).

El Miembro Galembó en Orú está formado de arcillas fosfáticas calcáreas y areniscas, en cierta forma meteorizadas, interestratificadas con cherts y arcilla calcárea. Las capas buzan suavemente al este y están sobreyacidas en el campamento de la carretera en Orú por capas delgadas de arcilla negra limosa que no contienen fosfato. Las capas de fosfato están expuestas en la carretera tanto al este como al oeste de Orú. Las capas contienen abundantes nódulos de fosfato y restos de peces en arcilla calcárea o arenisca. Las capas de fosfato son delgadas, pero la sección no fue medida debido al derrumbamiento y cobertura.

Los buzamientos muy suaves y el material estéril delgado en esta localidad indican la posibilidad de extracción a cielo abierto, pero es necesario un mayor estudio para determinar el espesor, extensión, tenor y tonelaje de la fosforita. La sección de Orú está en la facies caliza-chert-arcilla negra más bien que en la facies fosforita, como en Sardinata, siendo las capas de Orú más calcáreas y con menos granos de fosfato. Solamente 4 muestras fueron tomadas del Miembro Galembo en la localidad de Orú. Las capas varían en espesor de 0.3 a 0.5 m y contienen desde 1.5 a 9.2% P_2O_5 (Cuadro N° 3).

Salazar.

(loc. 43, fig. 5).

El Miembro Galembo aflora sobre la carretera precisamente al noreste de Salazar (loc. 102, Fig. 9). La mejor fosforita en esta localidad es una capa de arena fosfática, muy similar en litología a las capas de Sardinata. La capa tiene un espesor de cerca de un metro, buza cerca de 30° al suroeste y tiene rumbo noreste. La fosforita sobreyace arcillas silíceas estratificadas y cherts. Nada se sabe de la extensión o tonelaje del material de fosforita en este lugar, pero deberá hacerse un mapeo geológico detallado del área para determinar las relaciones estratigráficas así como el tonelaje y tenor de la fosforita.

California - Suratá.

(loc. 56, fig. 5).

Se muestreó una sección del Miembro Galembo de la formación La Luna, al occidente de la población de California (loc. 48, 49, Fig. 9); fueron muestreados por D. E. Ward y Raúl Perea. El contenido más alto en fosfato está en una fosforita calcárea con un abundante contenido de restos de peces y nódulos de fosfato. La capa tiene cerca de 0.80 metros de espesor y contiene cerca del 18% de P_2O_5 . La secuencia de capas se repite al sur de la población de Suratá, sobre el flanco opuesto de un sinclinal (muestra 50, Fig. 9).

En la localidad al sur de Suratá, la fosforita calcárea está sobreyacida por una caliza fosfática arenosa, de cerca de 20 metros de espesor (muestra 51, Fig. 9). La capa es más arenosa y menos fosfática cerca al tope donde está en contacto con la formación Umir (Ward, comunicación escrita). La caliza fosfática es lo suficientemente gruesa como para ser explotada, pero explotable únicamente para aplicación directa como roca molida. El contenido en calcita es demasiado alto para que su beneficio sea económico.

San Vicente.

(loc. 36, fig. 5).

Al norte de la población de San Vicente hay un afloramiento del Miembro Galembo que consta de varias capas delgadas de arenisca fosfática y arcilla (muestras 60-66, Fig. 9). Las capas varían en espesor de 0.5 a 0.8 metros, contienen abundantes nódulos de fosfato y restos de peces. Fallamiento y plegamiento junto con malos afloramientos hacen imposible asegurar cuántas capas de fosfato existen, pero ciertamente hay tres y puede haber hasta unas seis.

Varios kilómetros al norte (muestras 67-68, Fig. 9) la sección está expuesta de nuevo a lo largo de la carretera. En esta localidad hay 3 capas de fosforita que contienen también abundantes restos de peces y nódulos de fosfato en arcilla calcárea o arenisca. Dos de las capas de fosfato están separadas por una capa de arcilla de apenas unos pocos centímetros de espesor; estas dos capas totalizan 1.8 metros de espesor, incluyendo la arcilla separadora.

Esta área, a pesar de ser estructuralmente compleja, contiene probablemente gran tonelaje de fosfato, y es por lo tanto digna de investigación adicional.

Muchas otras áreas en Santander y Norte de Santander fueron verificadas para fosfato (Fig. 9), pero ninguna contenía fosfato en cantidad suficiente para considerarlas explotables aun remotamente.

TÁCHIRA — VENEZUELA

Un examen breve de la mina de fosfato La Lobatera (loc. 47, Fig. 5) y de la formación La Luna en áreas adyacente en el Estado de Táchira, Venezuela (loc. 46, Fig. 5) indicó que esta área está en la facies caliza-chert-arcilla negra. La capa de fosfato en la mina La Lobatera tiene un metro de espesor, buza casi verticalmente y contiene un promedio de cerca de 22% P_2O_5 . El material extraído está siendo finamente molido y será utilizado para aplicación directa al suelo.

Sobre la carretera de San Cristóbal a Rubio (loc. 46, Fig. 5) una exposición de la formación La Luna consta de capas delgadas de chert, calizas y arcilla negra, y por lo menos de una capa de arcilla fosfática. La capa fosfática contiene abundantes nódulos de fosfato y huesos de peces. La capa fosfática, caracterizada por huesos de peces, se encuentra comúnmente en todo Santander y Norte de Santander en la parte superior del Miembro Galembo.

Se ha informado que varias otras localidades en Táchira contienen "caliza fosfática radioactiva" (mapa en Trump, 1964). Estas áreas están probablemente en la formación La Luna (Fig. 9).

Así, la facies fosfato-caliza-chert se extiende dentro de Venezuela en rocas de edad Cretáceo Superior, y es posible que la facies fosforita localizada cerca de Sardinata también se extienda dentro de Venezuela, pero puede estar enterrada por rocas terciarias en la cuenca de Maracaibo.

G U A J I R A

Se hizo un viaje de reconocimiento a la Península de la Guajira para verificar la formación La Luna de edad Cretáceo Superior y la sección Terciaria marina. El viaje se hizo durante la estación lluviosa y las condiciones de las carreteras eran tales que solamente fue examinado un afloramiento de la formación La Luna, y se tomó una sola muestra de caliza fosilífera posiblemente de edad Mioceno. La parte de la sección Terciaria que fue levantada por carretera con un cintilómetro no indicó radioactividad anormal.

La formación La Luna consta de capas delgadas de caliza oscura, arcilla calcárea, y chert negro en pequeñas cantidades. Una muestra contenía algunos granos de fosfato (loc. 52, Fig. 5). La sección de la formación La Luna es delgada, buza casi verticalmente y su rumbo es casi este-oeste. La capa de fosfato debe ser muy delgada. La muestra no fue encontrada "in-situ" y solamente una sección formada de chert negro y caliza estaba por encima de la radioactividad normal de la región. La formación La Luna en la Península de la Guajira no contiene suficiente fosfato para justificar cualquier estudio posterior, aun a pesar de que no se visitó la sección de La Luna en la parte norte de la península.

La sección Terciaria marina se muestreó únicamente en un lugar (loc. 53, Fig. 5). En esta localidad, el mapa geológico indica la edad de las rocas como Mioceno. El afloramiento está formado de caliza fosilífera de capas delgadas, carmelitas, arenas y de arcillas carmelitas calcáreas. La caliza contenía unos pocos granos de fosfato, pero únicamente 0.54% P_2O_5 . (Cuadro 3).

A pesar de que los resultados del breve recorrido de la Península de la Guajira fueron en extremo negativos, el área no deberá ser completamente descartada. Solamente un afloramiento del Mioceno marino fue muestreado, y otros fueron investigados con el cintilómetro, pero varias de las áreas del afloramiento indicadas en el mapa geológico no pudieron ser alcanzadas debido a las condiciones de las carreteras. A consecuencia de los pobres resulta-

dos en el viaje de reconocimiento, el único trabajo adicional que se recomienda para esta área es examinar brevemente los otros afloramientos del Mioceno para determinar si ellos son fosfáticos. Las arenas de las playas a lo largo de la costa norte de la Península Guajira deben estar estudiadas por la posibilidad si contienen fosfatos. Esta es una área donde existen aguas ascendentes marinas (McKelvey, 1963), y puede ser que actualmente se están depositando fosfatos, igual como en las costas de California Baja y de Perú.

PROGRAMA DE EXPLORACION

A través de todo Colombia, las investigaciones de fosfato fueron casi en su totalidad limitadas a afloramientos en cortes de carretera. La parte de la sección de las formaciones Guadalupe y La Luna que se muestreó, dependió en qué tanto de la muestra estaba expuesta en el corte de carretera. Las capas de fosforita están presentes en el tercio superior del Miembro Galembo de la formación La Luna (Ward, comunicación escrita, 1967) y es esta parte de la formación la que más fácilmente se meteoriza y usualmente la menos expuesta. Es imperativo que la parte superior del Miembro Galembo sea examinada en las áreas más favorables por perforaciones o por cortes de bulldozer.

Cada perforación o pozo de ensayo debe ser localizado con exactitud para que se pueda computar un tonelaje y un tenor exacto. Cada perforación deberá llevar un número único, y esto se puede realizar relacionando cada perforación a la malla existente. Por ejemplo, cada plancha o cuadrángulo tiene un número, y las perforaciones pueden numerarse dentro del sistema ya existente. Cathcart da un posible sistema de numeración (1966).

Los cálculos de tonelaje se pueden hacer computando el volumen de la roca fosfática en tierra, y multiplicando este volumen conocido por el peso de la roca para conseguir el tonelaje. El volumen de la roca en tierra se puede determinar por perforación, más medidas en el afloramiento, y deberá reportarse en alguna unidad de standard de medida —probablemente en metros cúbicos. Debe determinarse el peso por unidad de volumen. El peso en gramos de un volumen medido de roca se determina para cada área y luego fácilmente se puede convertir en peso por metro cúbico.

El peso específico multiplicado por el volumen total dará el tonelaje total de la roca en tierra. Si se ha de beneficiar la roca, el tonelaje de material beneficiado se puede computar multipli-

cando el tonelaje total por el porcentaje de concentrado, lo que dará el tonelaje total del concentrado. El grado medio se puede encontrar usando métodos standard.

YACIMIENTOS DE GUANO

Los excrementos de pájaros y murciélagos (guano) son un material fertilizante importante en muchas partes del mundo porque está en la superficie de cuevas costaneras y porque su contenido en nitrógeno y fósforo es soluble en agua y es asimilable directamente por las plantas.

Los depósitos de guano no son grandes y, debido a su tamaño, tienen poca importancia como una fuente de fertilizantes, excepto cuando se trata de una situación muy local. Un depósito de guano, conocido en Colombia, está en la parte superior del río Cauca (Wokittel, 1957). No se han dado datos sobre reservas, únicamente se sabe que el depósito es pequeño.

Debido a su solubilidad, el guano solubilizado y el P_2O_5 combina con el material de las rocas que yacen debajo para formar fosfatos de hierro y aluminio si la roca es ígnea, y fosfato de calcio si la roca es caliza. En Colombia, los fosfatos de hierro y aluminio están presentes en la Isla Malpelo (lat. $3^{\circ}58'N$, long. $81^{\circ}35'W$) y las reservas de este material se estiman en 450.000 toneladas (Paba Silva, 1952; Suárez Hoyos, 1948; Sarmiento Alarcón, 1952; Hubach, 1952; McConnell, 1942).

Los análisis químicos (Sarmiento Alarcón, 1952) indican que el material es en gran parte fosfato de hierro, y McConnell (1942) reporta varios minerales de fosfato de hierro y aluminio —variscita, metavariscita, strengita y fosfosiderita—.

A pesar de que el tonelaje del material es más bien grande, los fosfatos de hierro no son útiles en la agricultura debido a su insolubilidad. La Isla Malpelo no tiene un puerto adecuado, de manera que su extracción y transporte sería casi imposible desde un punto de vista económico.

Las Islas de San Andrés (lat. $12^{\circ}30'N$, long. $81^{\circ}42'W$) y Providencia (lat. $13^{\circ}22'N$, long. $81^{\circ}22'W$) fueron examinadas para fosfato (Sarmiento Alarcón y Sandoval, 1947), pero hay poco o ningún guano, y el contenido de P_2O_5 de las rocas tuvo una variación desde trazas hasta 7.8% P_2O_5 , demasiado bajo para ser de interés económico.

El guano, o el material fosfático derivado del guano puede, por lo tanto, ser eliminado como una posible fuente de fertilizantes en Colombia.

AREAS AGRICOLAS DE COLOMBIA Y SU RELACION
CON LOS YACIMIENTOS DE FOSFORITA

Las principales áreas de agricultura en Colombia están a lo largo de los valles de los principales ríos —el Cauca, Cesar, Magdalena, en la sabana de Bogotá y en las amplias llanuras de los Llanos. En muchas otras áreas del país se desarrolla la agricultura en fincas pequeñas en las áreas montañosas de las Cordilleras. El área principal no desarrollada y adecuada para la agricultura a gran escala es la de los Llanos Orientales.

Los yacimientos de fosforita hasta ahora conocidos están en un cinturón que va en dirección noreste de la Cordillera Oriental, desde Huila en la parte meridional del país, hasta el norte de Santander en la parte septentrional.

El fosfato de la vecindad de Elías (Huila) se podría usar en el área de agricultura del valle superior del Magdalena. El transporte al Valle del Cauca sería muy costoso, por tener que cruzar la Cordillera Central.

El yacimiento de fosfato en el área de Ortega-Girardot se podría usar en la parte media del valle del Magdalena, y el transporte al área de utilización sería económico.

El yacimiento de Pandi-Cunday se podría usar en la sabana de Bogotá o en el valle del Magdalena. Este yacimiento puede ser grande. Se sabe que es de alto tenor y contiene sílice como diluyente principal. Como el depósito es suficientemente grande, se podría utilizar para hacer fertilizante químico de alto tenor, y en este caso podría ser transportado por largas distancias a las áreas de mercado, aun hasta el valle del Cauca.

El fosfato de La Sierra-Alto del Trigo-Caparrapí es de bajo tenor y muy calcáreo. El material no es adecuado para beneficio, pero probablemente sería un buen aditivo para suelos si se muele finamente y se utiliza por aplicación directa. Es posible llevar este material hasta la Sabana (el área de agricultura más cercana), pero esta área está casi al límite del transporte para la fosforita calcárea de bajo tenor.

El fosfato de Turmequé está muy cerca a la carretera Bogotá-Tunja, vía esta de buenas especificaciones y pavimentada. Este material se podría usar en la Sabana, y si el depósito prueba ser lo suficientemente grande, podría soportar el costo de una planta de fertilizantes químicos, en cuyo caso sería posible transportar el material hasta los Llanos, a través de Bogotá y Villavieco, o por tubería, aprovechando la gravedad.

Los depósitos de fosfato de Santander y Norte de Santander podrían ser utilizados en el valle medio del Magdalena, convertirse

en fertilizante químico (siempre que los tonelajes sean lo suficientemente grandes como para garantizar la inversión de una planta química) y luego transportados río abajo por planchones a todo el valle inferior del Magdalena. El transporte a los Llanos es posible, por la vía de Cúcuta y a través de la Cordillera. Si los yacimientos son bastantes y grandes, podrían exportar el material. También su transporte a los Llanos sería posible. En todo caso, el material tendría que ser de alto tenor para soportar los costos de transporte.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se han descubierto depósitos de fosforita de interés económico en Colombia, en rocas de edad Cretáceo Superior en la Cordillera Oriental desde Elías en el sur, hasta Orú en el norte (Fig. 5). Algunos de los depósitos tienen potencial para extracción económica y procesamiento químico, otros pueden ser explotables únicamente para uso local por aplicación directa a los suelos, pero todos los depósitos mencionados en este Informe tienen potencial económico y ellos varían sobre un área tan extensa que la producción, siendo aún limitada a roca molida para aplicación directa, sería de valor considerable a la agricultura. Lo analizado previamente indica la relación de los yacimientos de fosfato con las principales áreas de agricultura e indica la posibilidad de la explotación simultánea de un número de depósitos para suplir las áreas de agricultura locales.

Las recomendaciones siguientes se hacen en orden de prioridad. En todos los casos, es necesario el mapeo geológico detallado como el primer paso para determinar la extensión de la capa o capas de fosforita, la estructura y la estratigrafía. Con un mapeo detallado se pueden trazar secciones adecuadas y se pueden hacer estimativos preliminares de tonelaje. El mapeo detallado será también de valor para realizar un mapa paleogeográfico más detallado y exacto, y este mapa, con la facies del miogeosinclinal cuidadosamente mapeado, podría llevar a descubrimientos de fosforita adicionales.

En general, es evidente que el trabajo deberá concentrarse sobre rocas de edad Cretáceo Superior (formaciones La Luna y Guadalupe) ya que todos los yacimientos con potencial económico están en estas formaciones. El estudio deberá también ser confinado a la Cordillera Oriental, donde está presente la facies del miogeosinclinal.

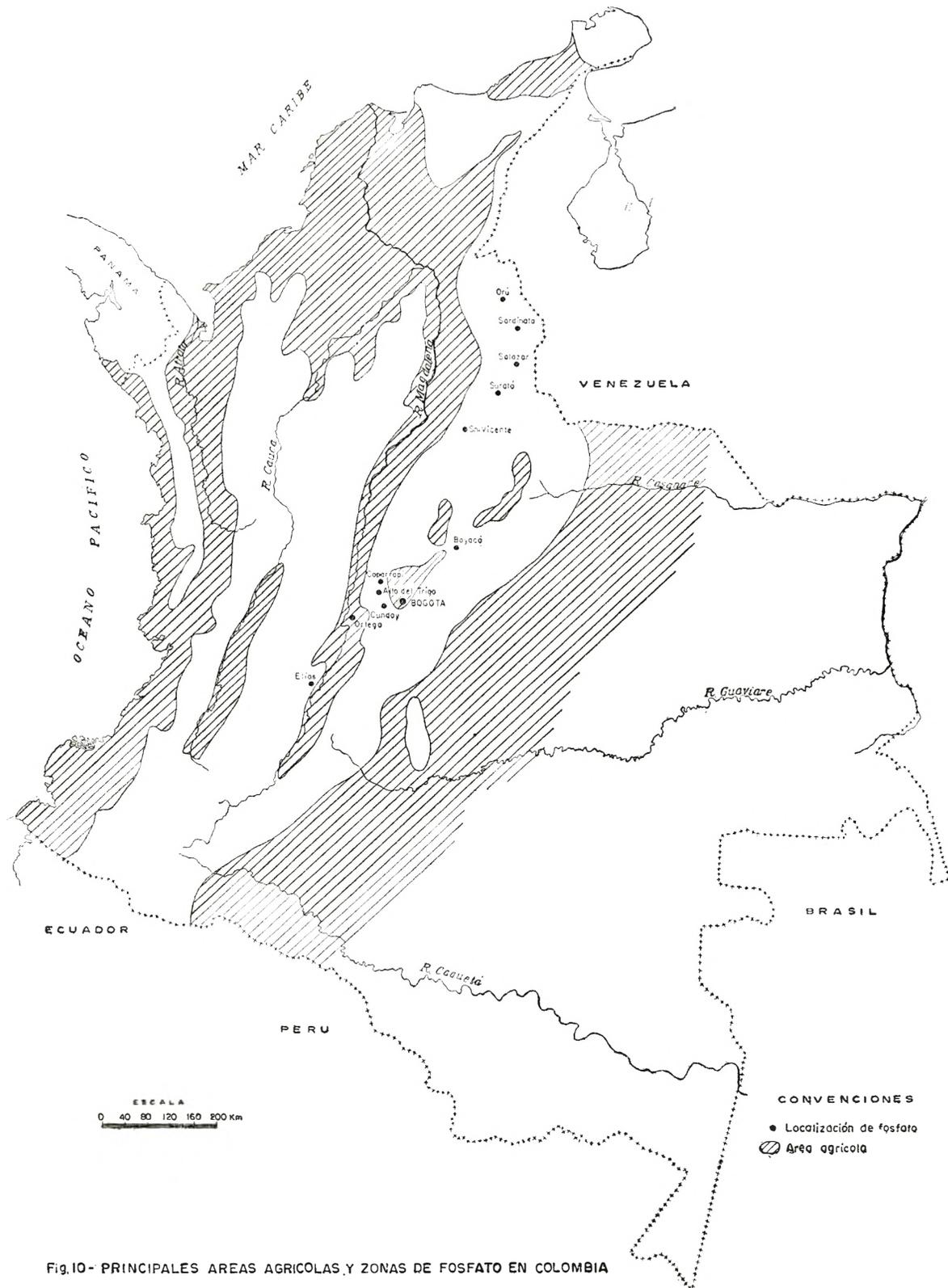


Fig.10- PRINCIPALES AREAS AGRICOLAS Y ZONAS DE FOSFATO EN COLOMBIA

SARDINATA Y AREAS ADYACENTES (SALAZAR Y ORÚ)

La capa de arena fosfática expuesta en Sardinata (loc. 49, Fig. 5) podría ser explotada directamente para utilizar el material y fabricar fertilizante químico. El tonelaje del material en o cerca a la superficie es de cerca de 1.5 millones de toneladas, lo cual es demasiado pequeño para garantizar la inversión de capital en una planta química. El mapeo geológico detallado y perforaciones (o apiques en las áreas más delgadas) son el primer paso para determinar la extensión del depósito. Más tarde deberán hacerse perforaciones al norte, donde el depósito está enterrado debajo de rocas más jóvenes. Solamente estas perforaciones determinarán el tonelaje del material que puede ser recobrado por métodos de minería a cielo abierto. Debido a que el afloramiento en la superficie está meteorizado, la composición de la roca fosfática en el subsuelo puede ser diferente de aquella en la superficie, y si hay calcita en la roca fresca, el beneficio y tratamiento de la roca será considerablemente diferente de aquel material que no contiene abundancia de calcáreos.

El mapeo geológico deberá eventualmente incluir el fosfato cerca a Orú (loc. 51, Fig. 5) y el que está cerca a Salazar (loc. 43, Fig. 5). Se deberá prestar particular atención al posible cambio de facies entre Sardinata y Orú.

La arena fosfórica en Salazar es muy similar, litológicamente, a la de Sardinata, pero al sur de Sardinata (loc. 91-93, Fig. 9) la capa de arena fosfática es demasiado delgada, y entre Sardinata y Salazar, sobre la carretera entre Gramalote y Lourdes (muestras 94-96, Fig. 9) la capa de fosforita es delgada y contiene menos fosfato que las capas en Sardinata y Salazar. Estas áreas deberán ser mapeadas, en detalle, para determinar la relación entre ellas, el espesor, extensión y tenor. Además, sería aconsejable abrir trincheras en áreas seleccionadas y hacer perforaciones para determinar el tenor y tonelaje de las capas de fosfato.

En la mayoría de las localidades, hay varias capas de fosfato. No se han hecho todavía secciones detalladas y tampoco se conocen las relaciones entre las capas de fosfato en los diferentes afloramientos. El mapeo geológico detallado es necesario para determinar las relaciones estratigráficas.

TURMEQUÉ Y AREAS ADYACENTES

El área alrededor de Turmequé (localizada por Pedro Mojica del Inventario Minero) está en la facies arenosa pero cerca de la facies más calcárea de las aguas profundas. Se necesita un estudio

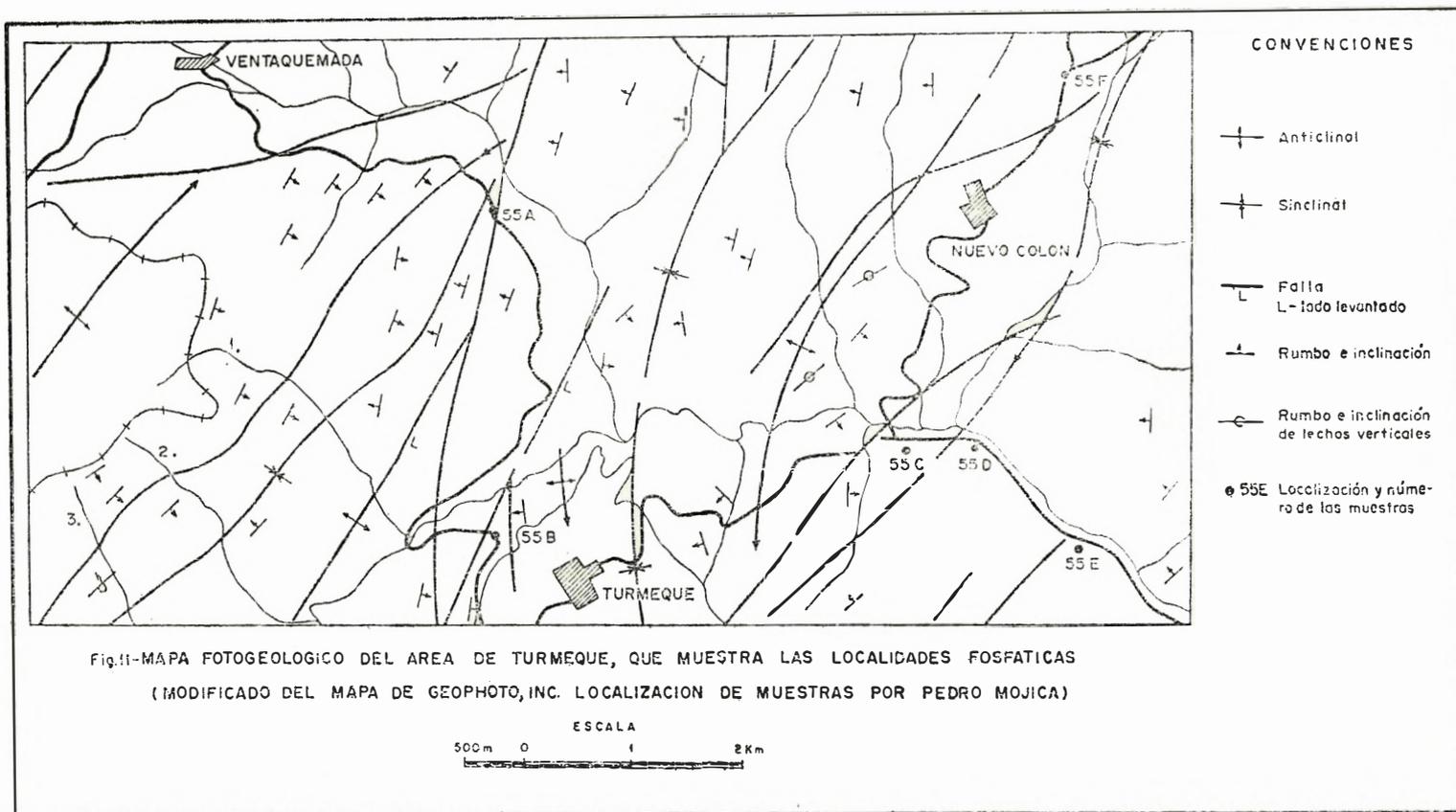
adicional en esta área, y el primer paso debe ser un mapa geológico detallado para determinar la estratigrafía, estructura y extensión del fosfato. Las muestras fueron tomadas únicamente sobre la carretera (Fig. 11). En la localidad 55A (Fig. 11) la capa de fosforita tiene 3.6 metros de espesor, e incluye tres intercalaciones de arcilla con un espesor total de 40 cms. La capa contiene un promedio de cerca de 20% P_2O_5 . La capa de fosfato buza 55° NW y su rumbo es $N 10^\circ E$, sobre el flanco oriental de un sinclinal. La capa no ha sido todavía localizada sobre el flanco occidental del sinclinal. Tres quebradas cruzan el rumbo de las capas hacia el suroeste del afloramiento (1, 2, 3, Fig. 11). Estas capas deben ser examinadas para determinar la extensión de la capa de fosforita y los detalles de la estructura del sinclinal. La capa debe luego ser investigada sobre la superficie, y será necesario algunas trincheras en la superficie para determinar su espesor y tenor. La sección sobre el flanco occidental del sinclinal deberá ser también estudiada, y una serie de secciones detalladas deberán ser trazadas a través del área, para determinar la profundidad de la capa de fosfato debajo de la superficie. Si es necesario, deben perforar unos pozos para confirmar las secciones. Todos los otros afloramientos deberán ser investigados y mapeados en la misma forma.

El mapeo deberá extenderse para incluir las áreas de la población de Boyacá (loc. 29, Fig. 5), al sur de ésta, para incluir las capas que se encuentran a lo largo de la carretera Chocontá-Machetá (loc. 28, Fig. 5) y a lo largo de la carretera Machetá-Guateque (loc. 28A, Fig. 5). Todas estas localidades tienen una capa o capas de roca fosfática que contiene 20% P_2O_5 y tienen un espesor hasta de 1.5 metros.

PANDI - CUNDAY

El área Pandi-Cunday (loc. 16, 17, 18 y 57, Fig. 5), al suroeste de Bogotá, está en la facies arenosa, pero cerca a la parte más profunda de la cuenca donde la facies calcárea fue depositada. Capas de arena fosfática de un metro de espesor, y con un contenido hasta de 27% P_2O_5 están presentes en varias localidades separadas. Solamente las capas a lo largo de las carreteras han sido muestreadas. En esta área es necesario un mapeo geológico detallado, además de perforaciones.

En Pandi (loc. 17, Fig. 5) la capa de fosforita buza suavemente y está cubierta por una capa delgada de material estéril. Esta área tendrá que ser perforada y se tendrán que abrir trin-



cheras, porque el fosfato está cubierto por taludes. El área puede ser adecuada para minería a cielo abierto.

Sobre la carretera Cunday-Villarrica (loc. 16, Figura 5) la capa de fosfato buza abruptamente, y está expuesta a lo largo de la carretera, con plegamiento local, probablemente a lo largo de una falla. La dirección del escarpe de la formación Guadalupe se extiende por varios kilómetros hacia el norte. Las capas están en una posición normal buzando hacia el occidente. La cuchilla tiene una altura de cerca de 200 metros; la perforación normal a los buzamientos es necesaria para determinar la extensión de la capa de fosforita. La minería en esta área tendrá que hacerse por métodos subterráneos. El afloramiento está meteorizado, y el carácter mineralógico de la roca de fosfato en la superficie no es conocido, pero debido a que esta sección está en la facies arenosa, se cree que no hay mucha diferencia entre el material de la superficie y el subsuelo.

SAN VICENTE Y AREAS ADYACENTES

La sección cerca a San Vicente (loc. 36, Fig. 5) está en la facies arenisca-chert-arcilla negra y hay varias capas delgadas de arena fosfática, arcilla fosfática y caliza fosfática. La sección es estructuralmente compleja, y esto puede representar problemas de minería, pero una sección similar está presente varios kilómetros al norte (loc. 37, Fig. 5), indicando la posibilidad de enormes reservas. Mapa geológico detallado es necesario para relacionar la estratigrafía de los afloramientos entre sí y para determinar el tenor y tonelaje del material presente. Para determinar las reservas con exactitud, serán necesarias perforaciones y mapeo geológico.

ORTEGA - GIRARDOT

El área desde Ortega a Girardot (loc. 11-15, Fig. 5) está en la facies caliza-arcilla negra-chert. Capas de arena fosfática con un espesor hasta de 0.80 metros contienen hasta 26% P_2O_5 . Las capas buzán abruptamente y tendrán que ser explotadas por métodos subterráneos. El área está en el valle del río Magdalena y los afloramientos de fosfato están relativamente cerca al área de agricultura. Así, la roca fosfática sería usada para aplicación directa a los suelos como roca fina molida.

Deberá hacerse mapeo geológico detallado para determinar la estructura, estratigrafía y la extensión, tonelaje y tenor del

fosfato. Areas al norte y occidente de Girardot están subyacidas por rocas de edad Cretáceo Superior. En la parte del área al occidente del río Magdalena, los buzamientos son bajos, y si hay fosforita en esta área, es posible que pueda ser extraída por métodos a cielo abierto.

ÁREA ELÍAS - TIMANÁ

Esta área (loc. 3 y 4, Fig. 5) contiene capas de fosfato con un espesor hasta de 0.80 metros y con un contenido hasta de 25% P_2O_5 . Se han muestreado capas similares hacia el norte hasta Yaguará (loc. 9, fig. 5) e Iquirá (loc. 10, fig. 5). El área fue mapeada e investigada por Slansky (1963) y por Zambrano (1966). El área merece una investigación y un mapeo geológico adicional para investigar las capas de fosforita. La mayor parte del área está cubierta por rocas terciarias más jóvenes.

CAPARRAPÍ

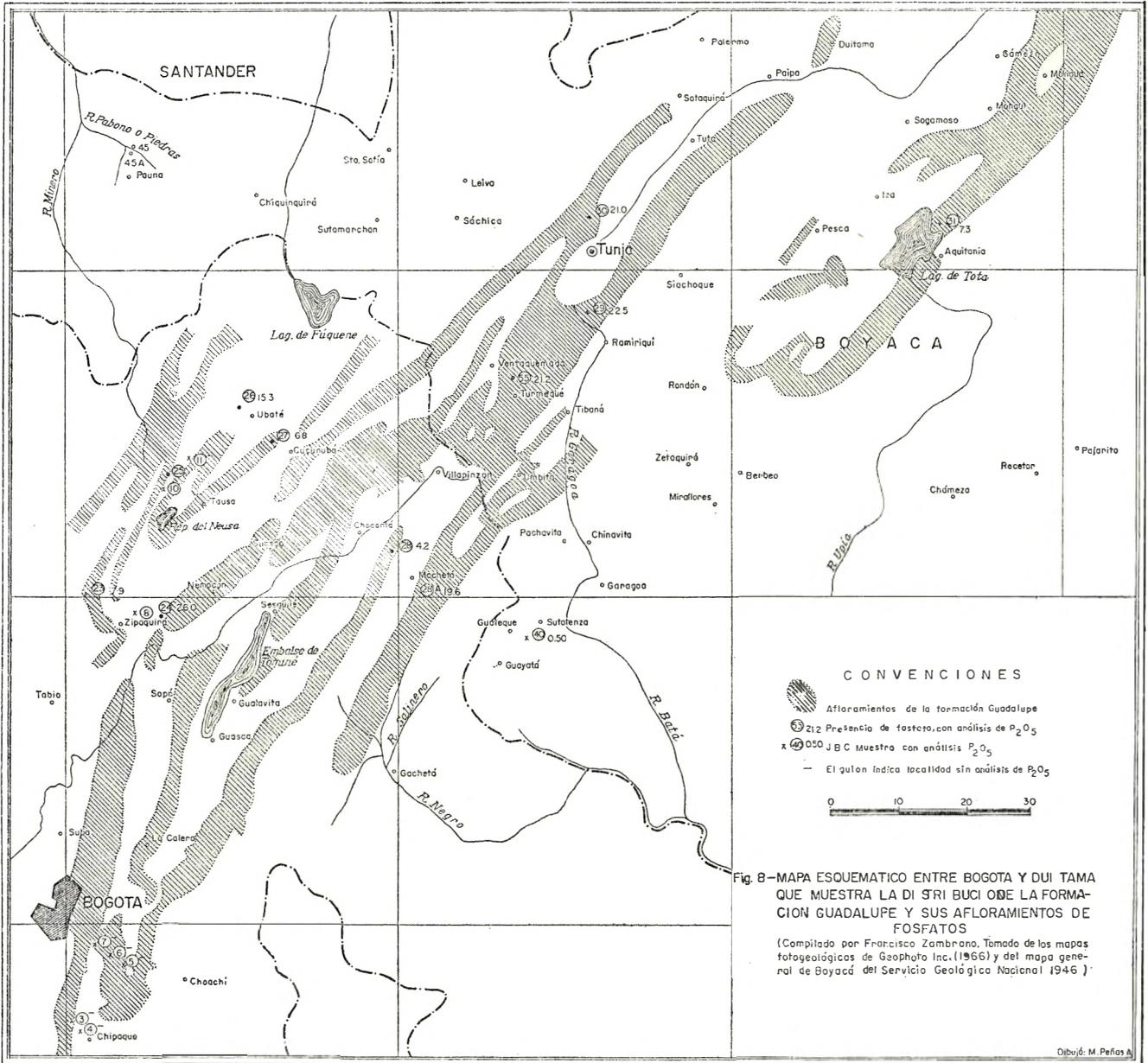
Capas de arena fosfática hasta de un metro de espesor fueron encontradas cerca a Caparrapí (loc. 22, Fig. 5). El área comprendida por Caparrapí al sur, San Vicente al norte y el río Magdalena al occidente, está subyacida por rocas de edad Cretáceo, y no ha sido prospectada, ni aun en forma de reconocimiento. Quizás afloran rocas de la formación La Luna en esta área, y estas rocas están en una posición favorable para fosforita en el miogeosinclinal.

SURATÁ - CALIFORNIA

El área Suratá-California (loc. 56, Fig. 5) fue primero prospectada por D. E. Ward del Servicio Geológico de los Estados Unidos y por Gilberto Manjarrés del Inventario Minero. Una capa fosfática con un espesor de 0.80 metros y con un contenido de 18% P_2O_5 aflora cerca a la población de California, y la misma capa aflora sobre el otro flanco del sinclinal, cerca a la población de Suratá. Una capa de caliza fosfática sobreyace arcilla fosfática cerca a Suratá. En esta localidad la capa de caliza fosfática tiene cerca de 2 metros de espesor, y es vertical. El material podría ser explotado por métodos subterráneos y usado para aplicaciones directas sobre los suelos. Es necesario un mapeo geológico detallado para determinar la extensión y tonelaje de esta capa.

ALTO DEL TRIGO - LA SIERRA

Las capas de caliza fosfática en esta área (loc. 20 y 21, fig. 5) son delgadas (cerca de 30 centímetros) y su contenido máximo de



fosfato es hasta de cerca del 17% P_2O_5 . Las secciones en La Sierra y en el Alto del Trigo son muy similares y las capas más altamente fosfáticas son casi idénticas en espesor y en tenor. Complicaciones estructurales han cortado las capas de la formación La Luna, cerca a Vianí, entre La Sierra y el Alto del Trigo, pero el recurso potencial de caliza fosfática es muy grande. El material puede ser usado como roca molida para aplicación directa a los suelos, pero, como el área está lo suficientemente cerca a la zona de agricultura de la Sabana, los costos de transporte podrían ser razonables. Es necesario un mapeo y un muestreo detallado del área minera para determinar el tonelaje y tenor del material con mayor contenido de fosfato. El contenido más alto de fosfato en los núcleos de perforación tomados en la quebrada Santa Ibáñez (Cuadro 3), cerca al Alto del Trigo, estaba en una muestra de 1 metro que se tomó cerca a la mitad del pozo N° 4. La muestra contenía solamente 6.9% P_2O_5 . Es posible que esta muestra incluya la capa de 18 cms del afloramiento que en la superficie contenía 13% P_2O_5 . Por ejemplo, si la capa en la sección del Alto del Trigo (sección p. 122), que contenía 12.7% P_2O_5 , se combinara con las dos capas de caliza fosfática que la subyacen, el espesor total sería de 1.31 metros y el contenido promedio de P_2O_5 de 5.70%. Así, esta combinación de capas en el afloramiento corresponde muy bien con el espesor, tenor y litología de las capas cortadas con el taladro.

El tenor sobre una extensión amplia sería probablemente en el orden del 5% P_2O_5 , pero es posible que este material sea útil como aditivo para suelos.

Deberán hacerse algunos ensayos en grandes cantidades de material de varios depósitos de esta zona para averiguar si el material es benéfico a los suelos en los cuales se utilizaría. Sería también necesario averiguar cuál de los muchos depósitos daría el mejor material.

TERCIARIO MARINO

En la costa septentrional, sedimentos marinos de edad Mioceno Medio contienen fosfatos en varios lugares en el hemisferio occidental (Florida y Carolina del Norte en los Estados Unidos y en Sechura en el Perú). Todas estas áreas están cerca de áreas donde hay ascendencia en los océanos modernos (McKelvey, 1963; Sheldon, 1964b), éstas y otras, donde ocurren condiciones similares, deberán ser estudiadas. Una de estas áreas es la Península de la Guajira, donde ocurre ascendencia en el océano moderno y donde las rocas miocenas están presentes. Después de un breve

viaje de reconocimiento a la Guajira, se concluyó que no había fosfato; pero una muestra de arenisca de edad Mioceno contenía algunos pocos granos de fosfato. Sería aconsejable un reconocimiento más completo de la Guajira, cubriendo rocas de edad Mioceno. El Mioceno marino también está presente a lo largo de la costa septentrional de Colombia en el área de Barranquilla, por lo cual deberá también estudiarse en una investigación con cintilómetro en las carreteras para determinar si hay fosfato en las rocas.

Hay fosfato presente en las playas modernas y en las aguas adyacentes donde existen las corrientes ascendentes, como en Baja California y en la costa del Perú. Por consiguiente, las playas de la costa norte y Guajira merecen alguna investigación.

CONSIDERACIONES ECONOMICAS

BENEFICIO Y TRATAMIENTO QUIMICO DE LAS ROCAS FOSFATICAS

La roca fosfática se puede beneficiar en varias formas, dependiendo del tenor (en porcentaje de P_2O_5), el tipo de material diluyente, la coherencia de la muestra y la cantidad de material orgánico presente. Cada depósito es diferente y los detalles de su beneficio varían en cierta forma entre yacimientos; sin embargo, pueden hacerse ciertas generalizaciones en referencia al tratamiento que debe seguirse.

FOSFORITA QUE CONTIENE ARCILLA Y CUARZO COMO DILUYENTES

ROCA DURA BIEN CEMENTADA

Si la roca tiene un alto contenido de P_2O_5 (30% o más), el material se puede usar directamente por acidulación, bien para superfosfato o triple superfosfato. El único tratamiento necesario antes de la acidulación es la pulverización.

Si la roca tiene un contenido menos alto de P_2O_5 (25-30%) se puede usar como carga de horno para hacer fósforo elemental.

Si la roca tiene un bajo contenido de P_2O_5 menos del 25%, será necesario su mejoramiento para conseguir un fertilizante de alto análisis químico. Un método sería moler el material, suficientemente fino como para liberar los granos de fosfato y cuarzo, seguido por tamizado para remover cualquier arcilla presente y

luego por el sistema de flotación, separar completamente el cuarzo del fosfato.

ROCA FOSFATICA NO CONSOLIDADA

Si la roca es de alto grado, se puede usar directamente por acidulación, después de su molienda, o se puede usar para aplicación directa, o bien se puede convertir en fosfato térmico por tratamiento al calor. Antes del tratamiento térmico, es necesario peletizar los materiales no consolidados, ya que la roca de grano fino no es utilizable en un horno.

Si la roca es de grado medio o bajo, será necesario tratarla para mejorarla, pero puede prescindirse de la fase de molienda. Usualmente un tamizado en húmedo es suficiente para disgregar el material. Siendo eliminada la fase de molienda, el material de bajo grado puede ser económicamente mejorado.

FOSFORITA CON CONTENIDO DE CALCITA O DOLOMITA

ROCA DURA BIEN CEMENTADA

Si el contenido de P_2O_5 es superior al 25%, el material puede ser mejorado moliendo y calcinando a temperatura elevada. La caliza se convierte en CaO de grano fino y el CO_2 sale como gas. Tamizando en húmedo se elimina el material de grano fino.

La acidulación directa no es práctica debido al consumo de ácido y los procesos conocidos de flotación no permiten la separación de calcita, dolomita y apatita. Desarrollando un proceso de flotación para separar apatita de minerales carbonatados, sería necesario una molienda para liberar las partículas. Debido a que todas las rocas fosfáticas carbonatadas también contienen sílice, sería probablemente necesario un proceso de flotación en dos pasos: primero para eliminar el cuarzo y segundo para eliminar los minerales carbonatados. Sin embargo, esta flotación en dos etapas podría ser antieconómica.

ROCA MOLIDA PARA APLICACION DIRECTA

El mineral fosfático de depósitos marinos de fosforita (carbonato-fluorapatita) es relativamente insoluble en suelos alcalinos o neutros, pero es ligeramente soluble en suelos ácidos. Los suelos podzólicos, formados en climas húmedos, templados en las latitudes templadas en el hemisferio norte, en algunas áreas en el hemisferio sur, y los suelos latosólicos formados en climas tropicales o subtropicales húmedos en el cinturón ecuatorial de América del Sur, son suelos ácidos que han sido empobrecidos en calcio y en

otras bases químicas y materiales orgánicos. Estos dos grupos de suelos tienen bajos niveles de fertilidad, pero responden a tratamientos científicos.

La roca fosfática finamente molida (80% pasando por malla 200) puede ser de beneficio a largo tiempo para cosechas cuando se aplica a dichas tierras ácidas. El fósforo se solubiliza lentamente y a pesar de que el aumento de crecimiento en cosechas no es tan notable como con la aplicación de fertilizantes de alto análisis, los resultados sobre un período de varios años, pueden dar un resultado semejante al de fertilizantes de alto análisis.

Los suelos de Colombia son casi completamente ácidos, y pueden agruparse en su mayoría dentro de los grupos latosólicos o podzólicos. La aplicación de roca fosfática finamente molida sería de gran beneficio a las cosechas en la mayoría de las tierras arables del país. Se deberán hacer ensayos de los suelos con roca molida para determinar los beneficios en las cosechas.

La roca calcárea fosfática, particularmente en material que contenga menos del 20% P_2O_5 , no se puede, bajo condiciones normales, concentrar económicamente para producir un fertilizante comercial. Este tipo de materia prima, sin embargo, puede ser valioso como una fuente de roca molida para aplicación directa. El material no soporta grandes costos de transporte y debe usarse cerca del área de la mina.

La calcinación de la roca fosfática calcárea a elevada temperatura, aumentaría el grado en términos del porcentaje en P_2O_5 , posiblemente en varios tanto por ciento, y el material calcinado, debiendo ser experimentado en el campo, así como también el material no calcinado para determinar si las cosechas se aumentan tanto como para garantizar el costo adicional de calcinación. Este ensayo agrícola deberá hacerse en el área en la cual el material se va a usar para determinar los resultados de la cosecha.

El pH del suelo es un factor importante tanto en solubilidad como en aprovechamiento de las plantas de muchos de los fertilizantes más importantes, pero el efecto de cambiar el pH de ácido a neutro o alcalino no es tan simple como parece. Por ejemplo, Allaway (1957, p. 7) indica que:

“El aprovechamiento del fosfato en muchos suelos es más alto cuando el suelo es neutro o levemente ácido, y este declina cuando el suelo va volviéndose fuertemente ácido o alcalino”.

Así, la adición de roca fosfática calcárea puede cambiar el pH de suelos muy ácidos lo suficiente para que el fósforo sea aprovechable a las plantas, o por el contrario puede cambiar el pH hacia el lado alcalino de tal manera que el fósforo no sería

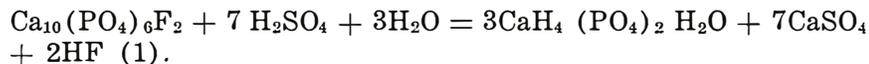
aprovechable. Obviamente el ensayo de los suelos para fosfatos calcáreos es necesario.

La roca fosfática arenosa con un grado muy bajo para su conversión en superfosfato será también de considerable beneficio para su uso directo como roca molida. Debido a que los granos de fosfato son más suaves que los granos de cuarzo, posiblemente la trituración seguida de tamizado en húmedo mejoraría el material, por remover algo de cuarzo. Deben hacerse algunos ensayos de trituración diferencial para determinar si es posible su mejoramiento.

TRATAMIENTO QUIMICO DE LAS ROCAS FOSFATICAS

La fluorapatita, que es el mineral de fosfato de fosforitas marinas, es insoluble en suelos neutros o alcalinos, pero es ligeramente soluble en suelos ácidos. El contenido de fósforo del mineral de apatita, por lo tanto, es poco adecuado para plantas, y los resultados en términos de mejoramiento de terrenos pueden demorarse por espacio de dos o más temporadas de crecimiento. Sin embargo, cuando la roca fosfática se cambia a fosfato mono o dicálcico, el fosfato se vuelve soluble en el agua y es aprovechado inmediatamente por las plantas, mejorando los terrenos después de la primera aplicación.

Cuando la roca fosfática molida se trata con ácido sulfúrico, la apatita se hace soluble en agua y se forma fosfato mono o dicálcico y sulfato cálcico. La reacción es más o menos como sigue:



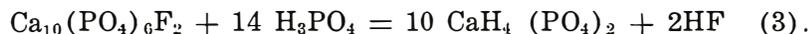
El HF en la fórmula ataca el cuarzo presente en la roca fosfática y es liberado bien como sílice o como ácido fluosilícico. El material de fosfato es superfosfato, ordinariamente superfosfato (OSP) o superfosfato normal (NSP). Contiene de 10 a 20% P_2O_5 si se hace a partir de roca fosfática que contenga 31% P_2O_5 o más.

El ácido fosfórico, por proceso húmedo, se obtiene por acidulación de la roca de fosfato con ácido sulfúrico, y separando el ácido fosfórico del sulfato (yeso) por filtración. La reacción es:



El triple superfosfato (TSP), también llamado treble o superfosfato concentrado, se hace por acidulación de la roca fosfática con ácido fosfórico.

La reacción principal es:



El triple superfosfato contiene de 48 a 53% P_2O_5 , que es el más apropiado para las plantas. La inversión de capital para producir triple superfosfato es mucho mayor que la inversión para producir superfosfato ordinario, pero debido al contenido mayor de P_2O_5 disponible, el triple superfosfato es un producto más valioso y soportaría su envío a distancias mucho más grandes desde la planta de elaboración.

El ácido nítrico puede quizá utilizarse como un sustituto del ácido sulfúrico en estos procesos.

TRATAMIENTO TERMICO DE LAS ROCAS DE FOSFATO

El elemento fósforo se hace en un horno eléctrico usando coque como agente reductor. Se agrega arena de cuarzo para combinar con el calcio de la roca fosfática, y así formar un silicato de calcio (wolastonita) que se puede separar como escoria fluída. El fósforo se obtiene como gas, y es condensado y recogido posteriormente, solidificado. El fósforo elemental también se puede hacer en horno usando coque más bien que electricidad como fuente de energía. A pesar de que el ácido fosfórico y el triple superfosfato se pueden hacer de fósforo elemental, la mayoría de la producción se usa en la industria química.

El fosfato cálcico-magnésico es un producto fundido que contiene cerca de 19% P_2O_5 disponible. Este se hace fusionando dos partes de roca de fosfato y una parte de olivina en un horno eléctrico. La escoria fosfática es rápidamente granulada, molida y usada para aplicación directa. Debido a que es alcalina, no es adecuada para mezclarla con sales de amonio.

El fosfato tricálcico fundido se produce fundiendo roca de fosfato en un horno calentado con aceite o gas. El fosfato fundido es granulado por "jets" de agua de alta velocidad. El producto, a pesar de que no es completamente soluble en agua, es más adecuado para plantas (particularmente para suelos ácidos), que la roca fosfática no tratada.

El consumo de combustible, fuerza y materia prima para hacer una tonelada de P_2O_5 o su equivalente, usando 3.5 toneladas de roca fosfática, es como sigue: (modificados del Cuadro XXV, Seims, 1952).

Triple superfosfato por proceso húmedo: 0.6 tons. de azufre.

Triple superfosfato en horno eléctrico: 0.8 tons. de sílice, 0.5 tons. de coque, 4.100 kv.-horas de fuerza.

Triple superfosfato en horno de fundición: 0.8 tons. de sílice, 1.8 tons. de coque.

- Fosfato calcio magnesio: 1.8 tons. de silicato de magnesio, 4.000 kv.-hora de fuerza.
- Fosfato tricálcico fusionado: 0.4 tons. de sílice, 240 galones de aceite, o 33.000 pies cúbicos de gas.
- Superfosfato ordinario: 0.6 tons. de azufre.

T R A N S P O R T E

La roca fosfática es un producto en bruto, que para llegar al consumidor a un precio razonable es necesario producir y transportar grandes toneladas del material.

Siendo el fosfato un producto de bajo precio relativamente, (31% P_2O_5 de Florida vale cerca de US\$ 7.00 por tonelada en las minas), el radio de transporte debe ser mantenido también en el mínimo para que el campesino pueda comprar el material.

Los medios convencionales para transportar grandes toneladas de material incluyen ferrocarril, planchones y camiones. Cuando los depósitos de fosfato no están cerca de los ríos navegables, el transporte por camión o tren sería costoso porque las líneas del ferrocarril y/o las carreteras tendrían que ser llevadas hasta las minas, y en algunos casos a las zonas de agricultura.

Un método alternativo posible de transporte, sugerido por Mr. Earl M. Irving al autor, sería bombear el fosfato en lodo por tuberías de diámetro grande. El método sería muy atractivo para llevar fosfato, inclusive caliza, desde Turmequé (loc 55, Fig 5) y Boyacá (loc. 29, Fig. 5) a los Llanos o al Valle del Magdalena, áreas potenciales de gran consumo de roca fosfórica. El transporte sería especialmente por gravedad y mucho del trabajo de bombeo se economizaría.

Otros depósitos podrían también ser explotados para transportar por tubería, siempre que el costo total fuera bajo; el método es lo suficientemente prometedor como para continuar su estudio a fin de determinar si es económico.

A Z U F R E

El azufre es una materia prima importantísima en el proceso químico de la roca de fosfato para hacer superfosfato triple u ordinario. La producción mundial de azufre no es capaz de satisfacer completamente la demanda, y en los tiempos presentes el azufre es críticamente escaso. La cantidad de nueva producción de fertilizantes a base de fosfatos depende de la disponibilidad de una fuente de azufre.

Las fuentes de azufre conocidas en Colombia no son suficientes en el momento para suplir ningún aumento grande en demanda. El azufre se encuentra en las tobas volcánicas del Puracé, pero

las reservas totales son solamente de cerca de un millón de toneladas, computadas como azufre refinado (Magyesi, 1962). La producción de azufre en las minas del volcán de Puracé es solamente suficiente para suplir la demanda local, y no parece que pueda aumentarse lo suficiente como para suplir una gran demanda, al menos por un largo período de tiempo.

Otras posibles fuentes de azufre incluyen pirita de las arcillas negras de las formaciones de Cáqueza y Villeta de edad Cretácea, pero sería imposible explotar estas arcillas en función de su contenido de pirita. Unas pocas toneladas de pirita por día van a los desechos en la mina de sal de Zipaquirá (D. H. McLaughlin, comunicación oral, 1966), y aunque podría ser recobrada, no se justificaría para su explotación, por el tonelaje demasiado pequeño.

El petróleo y gas natural son una fuente de azufre en muchas partes del mundo, pero los campos de gas en Colombia no parecen capaces de suministrar cantidades significativas de azufre.

Aunque las reservas conocidas son pequeñas, un programa de prospección en el país sería de considerable valor. De no encontrar reservas adicionales considerables, una planta para hacer fertilizante químico tendría que depender de la importación de azufre, o ser diseñada para usar cualquier otro método. Así la posibilidad de producir ácido nítrico por fijación y usándolo para acidulación de roca fosfática, sería de considerable importancia para Colombia.

PROBABILIDADES DE EXPLOTACION Y PRODUCCION DE FERTILIZANTES

Los suelos de Colombia, en las regiones arables, son generalmente latosólicos ácidos, empobrecidos de casi todos los nutrientes: primero por meteorización en largos períodos geológicos, y segundo, por abuso de los cultivos intensivos durante muchos años sin usar fertilizantes. El aumento de la producción agrícola, necesario para alimentar una población creciente, debe realizarse con la adición de fertilizantes al suelo, en forma científica. Exceptuando la pequeña producción anual de la escoria fosfórica básica (cerca de 28.000 toneladas por año) de Acerías de Paz del Río, todos los demás fertilizantes fosfáticos han sido importados hasta ahora. Sin embargo, esta importación es extremadamente pequeña para las necesidades del país (54.000 toneladas en 1963).

El descubrimiento de los grandes depósitos potenciales de fosfato cambia la situación considerablemente. Algunos de estos depósitos son extensos y de grado suficiente para atender las de-

mandas de fertilizantes del país a un costo que sin ninguna duda será inferior al costo de los fertilizantes importados.

Además de los grandes depósitos potenciales de alto grado, hay varios depósitos regados a lo largo de la Cordillera Oriental que pueden ser explotados para uso local en las áreas cercanas a las minas. Algunos de estos depósitos probablemente son de bajo tenor, para ser beneficiados económicamente y obtener un buen fertilizante químico, pero estos depósitos podrían ser útiles si se explotan y se procesan para aplicación directa. La explotación de estos depósitos depende de factores económicos, siendo de primordial importancia el costo para el hacendado por unidad de P_2O_5 .

El material local debe competir en costos con la roca fosfática de fuentes extranjeras, o con la roca fosfática del depósito potencial de alto tenor de Sardinata en la parte nororiental del país. Es posible que la necesidad de ahorrar pagos al extranjero pueda justificar un costo más alto para el artículo, en lugar de una importación, si viene de una fuente local. El problema deberá resolverse desde el punto de vista de estricta economía, para ver si el producto local puede competir con el importado.

Con el fin de llegar a una conclusión respecto a la diferencia entre el material importado y el adquirido en la localidad de consumo y en la rica localidad de Sardinata, haremos las siguientes observaciones:

Si la fosforita de Sardinata es de tan alto tenor como el indicado en las muestras iniciales, y si resulta ser un depósito extenso que se pueda explotar a cielo abierto, entonces el material explotado sería casi del mismo contenido de P_2O_5 que la roca fosfática importada por el puerto de Barranquilla, pudiendo ser colocado en Barranquilla con un costo unidad inferior al de la roca fosfática importada. Pero debe tenerse en cuenta que al costo del fertilizante para el agricultor en el interior del país tendrá también que agregarse el costo de transporte interno.

El costo real del transporte del material fertilizante dependerá del área a la cual éste sea despachado. El transporte por planchones en grande escala embarcado por el río Magdalena sería barato, y todas las áreas agrícolas dentro del radio de acción podrían conseguir roca fosfática a un precio inferior en función del costo por unidad de P_2O_5 . Sin embargo, el costo de estos materiales para el agricultor en el área de la Sabana de Bogotá, en el Valle del Cauca, en el valle alto del Magdalena, en el área de los Llanos Orientales de Colombia y en otras áreas en la parte sur del país bien podría ser excesivo, debido a que el transporte tendría

que hacerse por camión o por ferrocarril a largas distancias y salvando altas montañas.

Si el costo del transporte por carretera es de un centavo de dólar por tonelada-kilómetro, entonces el costo del transporte desde Sardinata hasta Bogotá sería de cerca de US\$ 6,50 y el valor total de las rocas fosfáticas desde Sardinata, despachado a Bogotá, sería casi el mismo costo que el de la roca fosfática importada por Barranquilla. Por lo tanto, es claro que, la roca fosfática importada, no puede competir en costo con la roca fosfática extraída en Sardinata. La roca fosfática del depósito de Ventaquemada podría ser transportada a Bogotá por menos de US\$ 2.00 por tonelada, costo de transporte. La explotación en el área de Ventaquemada tendría que hacerse por métodos subterráneos y sus costos de explotación serán considerablemente mayores que los costos de explotación en el área de Sardinata, los cuales son a cielo abierto, pero el costo por unidad de P_2O_5 sería más o menos el mismo, teniendo en cuenta que el tenor de Ventaquemada es más o menos $2/3$ del P_2O_5 que el tenor de Sardinata, así que el costo de la roca fosfática despachada desde Ventaquemada y puesta en Bogotá será más barato que el costo de la roca de Sardinata, y sin lugar a dudas será más barato que el costo de la roca fosfática importada.

Además, la roca fosfática de bajo tenor, aun siendo utilizada solamente para aplicación directa, será más barata por unidad de P_2O_5 que lo que sería la roca fosfática importada y en gran parte del país podría ser más barata que la que se produce en Sardinata, y será conveniente que todas las fuentes locales de roca de bajo tenor sean cuidadosamente investigadas para determinar su valor agrícola como roca molida para aplicación directa. Es probable que los despachos de roca molida se puedan hacer económicamente dentro de un radio de unos 100 kilómetros.

BIBLIOGRAFIA

- ALLAWAY, W. H., 1957, pH, Soil Acidity and Plant Growth: *in* Stefferud, Alfred, *ed.* Soil, The Yearbook of Agriculture, 1957: U.S. Department of Agriculture, 784.
- BELDING, H. F., 1955, Geological Development of the Colombian Andes: *en*, Bullard, F. M., *ed.*, Proceedings of the conferences on Latin American Geology, marzo, 1954, Dept. de Geología, Austin, Texas.
- BENTER, Y. K., 1953, Relations entre la tectonique et les depots de phosphates dans le Neguev Israelien: *en*, Origine des gisements de phosphates de chaux, XIX Congreso Geológico Internacional, Algiers, Compte Rendu, Sec. XI, Fasc. XI, p. 93-101.
- BÜRGL, HANS, 1961, Geología histórica de Colombia: Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, V, XI, N° 43.

- BÜRGL, HANS y BOTERO G., DARÍO, 1962, Las capas fosfáticas de la Cordillera Oriental (Informe preliminar): Servicio Geológico Nacional, Informe N° 1416, p. 54.
- CAMPBELL, C. J., 1965, The Santa Marta wrench fault of Colombia and its regional setting: Cuarta Conferencia Geológica del Caribe, Trinidad, BWI.
- CATHCART, J. B., Informe preliminar sobre los depósitos de fosfatos cerca a Sardinata, Norte de Santander, República de Colombia, Ministerio de Minas y Petróleos, p. 8.
- CATHCART, J. B., y OSTERWALD, F. W., 1954, Relation of structure to phosphate deposition (abs): American Inst. Mining and Metal. Eng. Industrial Minerals Division Meeting, Tampa, Florida, 1954.
- HARRINGTON, J. F., WARD, D. E. and MCKELVEY, V. E., 1966, Sources of fertilizer material in South America. Un informe preliminar. U.S. Geological Survey. Bull. 1240, p. 66.
- HETTNER, A., 1892, Die kordillere von Bogota: Petermanns Mitt., Bd. 22, Ergänzungsheft 104, p. 131 Gotha.
- HUBACH, ENRIQUE, 1952, Estado actual de la exploración de fosfatos en Colombia: Servicio Geológico Nacional. Informe N° 860, p. 5.
- HUBACH, ENRIQUE, 1957, Contribución a las unidades estratigráficas de Colombia, Servicio Geológico Nacional. Informe N° 1212, p. 166.
- KASAKOV, A. V., 1937, The phosphorite facies and the genesis of phosphorites, en. Geological investigations of agricultural ores, USSR: Leningrado. Sci. Inst. Fertilizers and Insectofungicids. Trans. (USSR) N° 142, p. 95-113. (Edición especial publicada en inglés para el décimo-séptimo Congreso Geológico Internacional).
- MCCONNELL, DUNCAN, 1950, en, The biogeochemistry of Vertebrate excretas: Bull. American Museum Nat. Hist. v. 96, p. 475-476.
- MCKELVEY, V. E., 1963, Successful new techniques in prospecting for phosphate deposits: Science, Technology and Development. Documentos preparados para la Conferencia de las Naciones Unidas sobre la aplicación de la ciencia y la tecnología para el beneficio de las áreas menos desarrolladas. v. II, p. 163-172.
- MCKELVEY, V. E., SWANSON, R. W. and SHELDON, R. P., 1953, The Permian phosphate deposits of Western United Nations: Congreso Geológico Internacional, 19th Comptes Rendus, sec. 11, pt. 11, p. 45-64.
- MCKELVEY, V. E., WILLIAMS, J. S., SHELDON, R. P., CRESSMAN, E. R., CHENEY, T. M. and SWANSON, R. W., 1959, The Phosphoria, Park City, and Shedborn Formations in the Western phosphate field: U.S. Geological Survey Prof. Paper 313A, p. 47.
- MEGYESI, IMRE, 1962, Estudios sobre los depósitos de azufre en la mina de "El Vinagre", Puracé: Servicio Geológico Nacional, Informe N° 1424, Bol. Geol. V. X, N° 1-3, p. 109-160.
- MORALES, L. G. and Colombian Petroleum Industry, 1958, General geology and oil occurrences of middle Magdalena Valley, Colombia, en L. G. Weeks, ed., Habitat of Oil, p. 641-695, American Assoc. Pet. Geologists, Tulsa, Oklahoma.
- NOTESTEIN, P. B., HUBMAN, C. W., y BOWLER, J. W., 1944, Geology of the Barco Concession, Republic of Colombia, South America: Geol. Soc. America Bull. v. 55, p. 1165-1216.
- OPPENHEIM, VÍCTOR, 1949, Geología de la costa sur del Pacífico de Colombia: Inst. Geofísico de los Andes Colombianos, series C., Bol. 1, p. 22.

- PABA SILVA, FERNANDO, 1949, Informe sobre la prospeccion de los fosfatos de la Isla de Malpelo: Servicio Geol. Nal. Inf. N° 634, p. 9.
- RENTZ, O., 1956, Cretaceous in Western Venezuela and the Guajira (Colombia): Vigésimo Congreso Geológico Internacional, Mexico City, p. 13.
- ROLLINS, J. F., 1965, Stratigraphy and Structure of the Guajira peninsula Northwest Venezuela and Northern Colombia: Estudios de la Universidad de Nebraska, nueva serie, N° 30.
- RUHLMAN, E. R., 1958, Phosphate rock, 1 Mining, beneficiation, and marketing: U.S. Bureau of Mines Inf. Circ. 781 h.
- SARMIENTO ALARCÓN, ALBERTO y SANDOVAL, JOSÉ, 1947, Comisión geológica del Archipiélago de San Andrés y Providencia, Estudios de fosfatos: Servicio Geológico Nal. Inf. N° 686, p. 11.
- SARMIENTO ALARCÓN, ALBERTO, 1947, Reconocimiento de fosfatos en la región comprendida entre los ríos Catatumbo y Orú, Departamento del Norte de Santander: Servicio Geológico Nal. Informe N° 539.
- SARMIENTO SOTO, ROBERTO, 1941, Geología económica de la región Paipa-Duitama-Santa Rosa de Viterbo en el Departamento de Boyacá: Servicio Geológico Nacional. Informe N° 353, p. 39.
- SARMIENTO SOTO, ROBERTO, 1942, Yacimientos de fosfatos del Salitre La Pradera, Municipio de Subachoque, Cundinamarca: Servicio Geológico Nacional. Informe N° 515, p. 12.
- SARMIENTO SOTO, ROBERTO, 1943a, Reconocimiento preliminar de unos posibles yacimientos de fosfatos en el Municipio de Soatá: Servicio Geológico Nacional, Inf. N° 358, p. 13.
- SARMIENTO SOTO, ROBERTO, 1943b, Estudio preliminar de unos posibles yacimientos de fosfato, en el Páramo de Pisba: Servicio Geológico Nal. Inf. N° 359, p. 12.
- SHAPIRO, LEONARD, 1952, Simple field method for determination of phosphate in phosphate rocks: American Mineralogist, v. 37, p. 341-342.
- SHELDON, R. P., 1964a, Exploration for phosphate in Turkey — A case history: Econ. Geol., v. 59, p. 1159-1175.
- SHELDON, R. P., 1964b, Paleolatitudinal and paleogeographic distribution of phosphorite: U.S. Geol. Survey, Prof. Paper 501C, p. C106-C113.
- SIEMS, H. B., 1951, Fertilizers, en Kirk, R. E., and Othmer, D. F., eds. Encyclopedia of Chemical Technology, v. 6, New York, p. 376-452.
- SLANSKY, M., 1963, Contribution a l'étude du probleme du phosphate en Colombia: Servicio Geol. Nal. Inf. 1471, p. 92.
- SUÁREZ H., VICENTE, 1948, Informe preliminar sobre el reconocimiento de la Isla de Malpelo: Servicio Geológico Nal. Inf. N° 635, p. 10.
- THOMPSON, A. V., 1966, Guidebook of a geological section from Bogotá to the Central Cordillera: Colombian Society of Petroleum Geologists and Geophysicists: Guidebook, field trip. June, 1966.
- TRUMP, G. W., and Salvador, Amos. 1964, Guidebook to the geology of Western Táchira: Asociación Venezolana de Geología, Minería y Petróleo, Guidebook, 1964, p. 25.
- WEEKS, L. G., 1947, Paleogeography of South America: American Assoc. of Petroleum Geologists. Bull., v. 31, N° 7, p. 1194-1241.
- WOKITTEL, ROBERTO, 1957, Recursos minerales en el Territorio Vásquez, Departamento de Boyacá: Servicio Geol. Nal. Inf. N° 1240.
- ZAMBRANO, FRANCISCO, 1966, Manifestaciones fosfáticas en el Departamento del Huila y otras localidades del sur del país: Servicio Geológico Nacional, Inf. N° 1507, p. 23.